

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Математическое моделирование процесса производства автомобильных бензинов	

УДК 665.633:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузов Вячеслав Алексеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Пашков Евгений Николаевич	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Елена Николаевна	К.Т.Н.		

Запланированные результаты обучения
по образовательной программе «Химическая технология топлива и газа»
(направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»)

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС (самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта)
Общекультурные (универсальные) компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действия
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-3	Способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
ОПК(У)-4	Готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
ОПК(У)-5	Готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей
ПК(У)-2	Готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
ПК(У)-3	Способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты
Дополнительные профессиональные компетенции (профессиональные компетенции, установленные университетом)	
ДПК(У)-1	Готовность к решению профессиональных производственных задач – контролю технологического процесса, разработке параметров проведения технологического процесса, разработке технологических расходных коэффициентов сырья и материалов, энергоресурсов, к выбору основного и вспомогательного оборудования
ДПК(У)-2	Способность использовать математические модели и пакеты прикладных программ для описания и прогнозирования различных явлений
ДПК(У)-3	Способность проводить технологические и технические расчеты по проектам, технико-экономический анализ проекта
ДПК(У)-4	Способность разрабатывать учебно-методическую документацию для реализации образовательных программ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Ивашкина Е.Н.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ92	Лариной Екатерине Евгеньевне

Тема работы:

Математическое моделирование процесса производства автомобильных бензинов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 02.02.2021 № 33-24/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	26.05.2021
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т.д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т.д.).</p>	<p>Объект исследования – поточная схема производства автомобильных бензинов ТОО «ПНХЗ» г. Павлодар, включающая блок разделения легкой нефти, блок каталитического риформинга и изомеризации прямогонных бензиновых фракций, а также блок компаундирования товарных бензинов. Технология предназначена для получения автомобильных бензинов, соответствующих нормам пятого экологического класса.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Введение 1 Литературный обзор 1.1 Современные технологии процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций 1.2 Современное состояние процесса каталитического риформинга бензинов 1.3. Компаундирование товарных бензинов 2 Объект и методы исследования 2.1 Технологическая схема комплекса производства бензинов 2.2 Схема компаундирования товарных бензинов 2.3 Модель процесса ректификации широкой бензиновой фракции</p>

	2.4 Математические модели процессов риформинга и изомеризации 2.5 Математическая модель процесса компаундирования товарных бензинов 3 Повышение эффективности процесса производства товарных бензинов с использованием метода математического моделирования 3.1 Исследование влияния состава перерабатываемого сырья на качество товарных бензинов 3.2 Рекомендации по улучшению свойств товарных бензинов 3.3 Рекомендации по улучшению качества перерабатываемого сырья 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность Заключение Список использованных источников
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна, к.э.н., доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Пашков Евгений Николаевич, к.т.н., доцент ООД ШБИП
Раздел ВКР на иностранном языке	Терре Дина Анатольевна, к.ф.н., доцент ОИЯ ШБИП
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2021 г.
---	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов В.А.	к.т.н.		01.02.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Ларина Е.Е.		01.02.2021 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Отделение химической инженерии
 Направление подготовки (специальность) 18.04.01 «Химическая технология»
 Профиль «Химическая технология топлива и газа»
 Уровень образования магистратура
 Период выполнения весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	26 мая 2020 г.
--	----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2021 г.	Введение	10
23.03.2021 г.	Компаундирование товарных бензинов. Характеристики качества автомобильных бензинов. Присадки и добавки к автомобильным бензинам. Требования, предъявляемые к качеству автомобильных бензинов. Технология производства и компоненты автомобильных бензинов. Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов. Системы календарного планирования выпуска бензинов.	10
07.04.2021 г.	Цель и задачи исследования. Функционирование комплекса производства компонентов автомобильных бензинов в условиях переменного углеводородного состава перерабатываемого сырья. Характеристика объекта исследования. Математическое описание блоков разделения и каталитической переработки углеводородного сырья.	20
30.04.2021 г.	Обсуждение результатов. Моделирование колонны-сплиттера нефти в среде UniSim Design. Расчет процессов изомеризации и риформинга с использованием компьютерных моделирующих систем на основе	50

	детерминированных физико-химических моделей. Расчет стадии производства автомобильных бензинов при минимизации запаса по качеству товарной продукции.	
17.05.2021 г.	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». Раздел «Социальная ответственность». Заключение.	10

Составил преподаватель

Группа	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов Вячеслав Алексеевич	к.т.н.		01.02.2021 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна		01.02.2021 г.

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОХИ ИШПР	Ивашкина Елена Николаевна	д.т.н.		01.02.2021 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и зарубежных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Анализ причин и следствия проблем, оценка коммерциализации проекта.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Устав проекта, организационная структура проекта, ограничения и допущения проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработка графика проведения научного исследования. Определение бюджета научно-технического исследования.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности исследования компьютерно-моделирующей программы процесса приготовления товарных бензинов.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
6. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГУ ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		31.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна		31.01.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.01 «Химическая технология топлива и газа»

Тема ВКР:

Математическое моделирование процесса производства автомобильных бензинов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: алгоритм процесса производства автомобильных бензинов.</p> <p>Область применения: нефтехимия.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата в помещении; – недостаточная освещенность; – повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической цепи; – психофизиологические производственные факторы.
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: выброс газов и газообразных продуктов переработки товарных бензинов;</p>

	Гидросфера: разлив компонентов товарных бензинов или товарной продукции на воде; Литосфера: загрязнение почвы химическими отходами, шламом.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар, взрыв, розлив компонентов товарных бензинов. Наиболее типичная ЧС: пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	28.01.2021
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна		27.02.2021

Реферат

Выпускная квалификационная работа 147 с., 20 рис., 53 табл., 58 источников, 4 прил.

Ключевые слова: математическое моделирование, компаундирование, риформинг, изомеризация, бензин, октановое число.

Объект исследования — комплекс производства автомобильных бензинов, состоящий из следующих блоков: разделения сырья, каталитического риформинга и изомеризации, компаундирования товарных бензинов.

Предметы исследования: количественный и качественный состав перерабатываемого сырья и компонентов бензинов; технологический режим блока разделения сырья; качество компонентов, производимых блоком каталитической переработки прямогонных бензиновых фракций; рецептуры смешения блока производства автомобильных бензинов.

Цель работы — оценить влияние состава и качества перерабатываемого сырья на продукты риформинга и изомеризации, а также свойства получаемых автомобильных бензинов, предоставить рекомендации по улучшению технологического режима и разработать оптимальные рецептуры автомобильных бензинов с учетом качества перерабатываемого сырья.

В процессе исследования был определен покомпонентный состав продуктов разделения сырья, каталитического риформинга и изомеризации; проведен анализ влияния состава сырья на качество бензинов; предложены рекомендации по корректировке технологического режима блока разделения сырья; с помощью методов математического моделирования исследованы свойства товарных бензинов и подобраны оптимальные соотношения потоков для рецептур смешения бензинов на исследуемом сырье.

Результаты исследования помогут повысить ресурсоэффективность процесса производства бензинов, а также выход автомобильных бензинов; на предприятии и обеспечить соответствие продукта всем нормам и требованиям, содержащимся в регламентирующей документации.

Содержание

Введение	13
1 Литературный обзор.....	16
1.1 Современные технологии процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций	16
1.1.1 Катализаторы процесса изомеризации	18
1.1.2 Технологии процесса изомеризации.....	22
1.1.3 Отечественный и зарубежный опыт повышения эффективности процесса изомеризации	27
1.2 Современное состояние процесса каталитического риформинга бензинов.....	31
1.2.1 Катализаторы процесса риформинга бензиновых фракций	33
1.2.2 Технологии процесса каталитического риформинга	38
1.2.3 Методы снижения содержания бензола в риформате	43
1.3 Компаундирование товарных бензинов	47
1.3.1 Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов.....	48
1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов	50
2 Объект и методы исследования	53
2.1 Технологическая схема комплекса производства бензинов	53
2.2 Схема компаундирования товарных бензинов	54
2.3 Модель процесса ректификации широкой бензиновой фракции	55
2.4 Математические модели процессов риформинга и изомеризации	56

2.5 Математическая модель процесса компаундирования товарных бензинов.....	58
3 Повышение эффективности процесса производства товарных бензинов с использованием метода математического моделирования.....	60
3.1 Исследование влияния состава перерабатываемого сырья на качество товарных бензинов	60
3.2 Рекомендации по улучшению свойств товарных бензинов	65
3.3 Рекомендации по улучшению качества перерабатываемого сырья	68
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	77
4.1 Предпроектный анализ.....	77
4.2 Инициация проекта	85
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	86
4.4 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	95
5 Социальная ответственность	104
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	104
5.2 Производственная безопасность	106
5.3 Экологическая безопасность	111
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	114
Заключение	120
Список использованных источников	122
Приложение А Дополнительные материалы к разделу 2.....	128
Приложение Б Дополнительные материалы к разделу 3	130
Приложение В Дополнительные материалы к разделу 4.....	134
Приложение Г (справочное)	135

Введение

Каждый третий житель Российской Федерации является владельцем автомобиля. Поэтому на сегодняшний день спрос на автомобильные бензины остается стабильным – данный вид топлива является широко востребованным потребителем продуктом, вне зависимости от экономической ситуации. Вопреки тому, что из-за роста налогов (повышение НДС с 18 до 20%) происходит рост цен на топливо, Россия по-прежнему числится среди государств с самым доступным горючим. В Минфине утверждали, что были приняты меры для поддержания нефтеперерабатывающих заводов, а суть налогового маневра ведет к повышению эффективности отечественной переработки.

Несмотря на попытки модернизации отечественных НПЗ, РФ отстает в процессе переработки нефти. Однако наши заводы не настроены на производство качественных светлых нефтепродуктов. Также растут требования по вопросам экологической безопасности и охраны окружающей среды. В первую очередь ужесточение экологических норм ощущают на себе предприятия нефтеперерабатывающего профиля. Например, в России с 1 июля 2016 года был введен запрет на производство товарных автомобильных бензинов ниже 5-го экологического класса [1]. Это связано с тем, что Евро-5 содержит меньше примесей, поэтому использование данного топлива высокого стандарта приведет сокращению вредных выбросов в окружающую среду, а также увеличит эксплуатационные сроки двигателей. В связи с этим, НПЗ приходится модернизировать имеющееся оборудование и технологические режимы его эксплуатации, перераспределять сырье между установками, а также вводить дополнительные мощности для вторичной переработки нефти.

Но главной задачей является планирование и оптимизация процесса производства товарных бензинов, повышение качества продукции, соответствующей предъявляемым требованиям, и определение оптимальных

рецептур смешения автомобильных бензинов с учетом качества и количества перерабатываемого сырья.

В целях увеличения эффективности переработки нефти, а также улучшения количественных и качественных показателей выпускаемых нефтепродуктов наиболее ответственными являются несколько процессов, среди которых находятся процессы изомеризации и риформинга прямогонных бензинов, а основным и завершающим – процесс компаундирования [2].

В наше время, незаменимым инструментом для оптимизации и планирования процесса производства автомобильных бензинов является внедрение математических и программных алгоритмов и моделирующих систем, которые позволяют с точностью спрогнозировать и скорректировать технологический режим процесса, свойства производимой продукции, путем внесения поправок в состав сырья, либо же в рецептуры смешения. Рецептуры компаундирования компонентов, представляющих собой продукты процессов первичной и вторичной переработки нефти, имеют разные свойства и показатели качества [3]. Соблюдение требований к качеству товарных автомобильных бензинов, позволит избежать некондиционные партии, а моделирование процесса поспособствует его прогнозированию и внедрению в производство без лишних затрат.

Таким образом, очевидным становится тот факт, что эффективность работы нефтеперерабатывающих предприятий, а также количество и качество производимой продукции, напрямую зависит от возможности достоверно спланировать и внести нужные поправки в свойства производимых автомобильных бензинов, путем корректировки рецептур смешения.

Цель данной работы заключается в создании математической модели процесса производства товарных бензинов, включающей стадии разделения сырья, риформинга и изомеризации, компаундирования.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Смоделировать процесс разделения сырья в колонне-сплиттере нафты. Провести анализ исследуемых составов на соответствие требованиям

по ограничению компонентов, предъявляемых к полученным составам легкой и тяжелой нефти, регламентирующей документацией;

2) Рассчитать блоки изомеризации легкой нефти и риформинга тяжелой нефти исследуемого сырья;

3) Произвести прогнозный расчет свойств автомобильных бензинов, используя полученные составы изомеризата и риформата, включая расчет рецептур смешения;

4) Выполнить анализ влияния состава перерабатываемого сырья на свойства автомобильных бензинов, разработать оптимальные рецептуры автомобильный бензинов с учетом качества перерабатываемого сырья;

5) Дать рекомендации по корректировке технологического режима блока разделения широкой бензиновой фракции, с целью улучшения качества перерабатываемого сырья;

6) Произвести расчет количества вовлекаемых потоков в компаундирование всех видов сырья. Проанализировать разницу количества используемых потоков исходного сырья, а также сырья, не соответствующего качеству.

Объектом исследования в данной работе является процесс производства автомобильных бензинов. Предметом исследования – количественный и качественный состав перерабатываемого сырья и компонентов бензинов, а также рецептуры смешения товарных бензинов.

Результаты исследования могут быть использованы для повышения ресурсоэффективности процесса производства автомобильных бензинов и получения товарных бензинов с учетом качества перерабатываемого сырья.

1 Литературный обзор

1.1 Современные технологии процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций

Ограничение содержания ароматических углеводородов, вызывает необходимость поиска альтернативных способов получения высокооктановых компонентов при производстве автомобильных бензинов. Одним из таких способов является изомеризация парафиновых углеводородов до высокооктановых разветвленных парафинов.

С каждым годом в мировом производстве происходит ужесточение требований к качеству товарных бензинов по эксплуатационным и экологическим характеристикам, из-за воздействия массы выбросов отработанных газов автомобилей. В связи с этим качество выпускаемых автомобильных бензинов строго регламентируется в особенности по содержанию олефиновых и ароматических углеводородов, в частности, бензола, а также серосодержащих соединений в составе товарных автомобильных бензинов. Увеличение содержания этих веществ в топливе, приводит к увеличению их содержания в выбросах автотранспорта. Поэтому проблема снижения их содержания в автобензинах особенно актуальна и всегда остро стоит перед производителями.

В связи с вступлением в России введенного запрета на производство товарных автомобильных бензинов ниже 5-го экологического класса, ужесточились требования по содержанию серы и ароматических углеводородов, объемная доля которых должна быть не более 35 об. %, в том числе бензола (не более 1 об. %), в которых базовым компонентом является риформат [6]. Поэтому основным путем решения проблемы является разбавление катализата риформинга высокооктановыми неароматическими компонентами. Для этого в современной нефтепереработке, при получении высокооктановых изокомпонентов автомобильных бензинов с пониженным

содержанием углеводородов ароматического строения, в их состав вовлекают алкилбензин, оксигенаты и изомеризат.

Процесс изомеризации давно реализуется нефтеперерабатывающей промышленностью. Его следует вести так, чтобы выход ароматических и олефиновых соединений был минимален, что может быть достигнуто путем правильного подбора катализатора, а также условий протекания процесса.

Важнейшим фактором для включения в схему переработки установки изомеризации является рост октанового числа в бензиновых фракциях и это позволяет уменьшить жесткость процессов риформинга. При проведении процессов изомеризации необходимо наличие водорода, который образуется в процессе риформинга.

Ранние процессы изомеризации предназначались для получения изобутана при мягких температурных режимах (90–120°C) на хлористом алюминии из н-бутана. Для получения требуемого октанового числа товарных бензинов добавляли высокооктановые присадки, например, МТБЭ - метилтретбутиловый эфир, но он в больших количествах они ведут к падению мощности и увеличению затрат на производство. Для снижения использования присадок, в качестве компонента товарного автобензина используют продукт изомеризации пентан-гексановой фракции. В процессе изомеризации в присутствии бифункциональных катализаторов сырье изомеризуется в среде водорода [7]. Благодаря тому, что и-пентан и и-гексан имеет высокие испаряемость и октановые числа, они имеют высокую ценность и являются высокооктановыми низкокипящими компонентами автомобильных бензинов.

С недавних пор на производствах активно развивают и внедряют процесс изомеризации гептановой фракции. Это ведет к тому, что внедрение установок для переработки углеводородов C_7 , поспособствует выпуску высокоэкологичных бензинов, соответствующих пятому классу качества. Сведений о данном процессе и промышленных установках еще очень мало, но следует отметить, что для процесса изомеризации гептановой фракции

существует необходимость в разработке активного и селективного катализатора, потому что нынешние катализаторы приводят к росту побочных реакций крекинга из-за их высокой кислотности [8].

1.1.1 Катализаторы процесса изомеризации

Рассмотрим несколько типов катализаторов. В настоящее время процессы изомеризации проводят с помощью бифункциональных катализаторов, которые представляют собой каталитические системы с кислотной и дегидрирующей активностями и состоят из металлического компонента, в основном платины, и промотора на носителе.

Промышленные катализаторы изомеризации делятся на несколько типов, в зависимости от температурных режимов. В связи с этим процесс изомеризации классифицируют тремя видами [9]:

- «высокотемпературная изомеризация» при температурах от 350 °С до 430 °С;
- «среднетемпературная изомеризация» при температурах от 220 °С до 310 °С;
- «низкотемпературная изомеризация» при температурах от 110 °С до 210 °С.

Высокотемпературная изомеризация проводится на алюмоплатиновых фторированных или хлорированных катализаторах, на которых достигаются самые высокие октановые числа изомеризата, но они при этом имеют свои недостатки, например, высокую чувствительность к примесям влаги и серосодержащих соединений, а также высокие скорости побочных реакций, способствующих образованию низкооктановых продуктов.

Среднетемпературная изомеризация осуществляется на цеолитных катализаторах и имеет ряд преимуществ, к которым относят отсутствие постоянных сточных вод, вредных выбросов в атмосферу и коррозионно-активных веществ в реакционных средах, а также простоту технологии.

Низкотемпературную изомеризацию в основном проводят на оксиде алюминия, промотированном хлором и на сульфатированных оксидах

металлов. Их применение избавляет от вышеуказанных недостатков и увеличивает детонационную стойкость получаемых продуктов, но имеет жесткие требования к качеству перерабатываемого сырья.

Далее подробно рассмотрим преимущества и недостатки всех типов катализаторов.

Цеолитные катализаторы способны к полной регенерации в реакторе установки изомеризации (межрегенерационный период около двух трех лет), представляют собой металл – платину, нанесенный на цеолит – морденит и обладают высокой устойчивостью к каталитическим ядам и примесям.

Из всех известных цеолитных катализаторов можно выделить катализатор HYSOPAR, который на мировом рынке является наиболее прогрессивным и по своей устойчивости к действию каталитических ядов в сырье значительно превосходит все остальные цеолитные катализаторы [10]. Однако цеолитные катализаторы имеют самую маленькую активность среди всех катализаторов изомеризации, существующих в настоящее время. Также среди недостатков низкие октановые числа у получаемого изомеризата из-за высокой температуры процесса, что увеличивает затраты на эксплуатацию цеолитных катализаторов.

Самой высокой изомеризирующей способностью для переработки пентан-гексановой фракции обладают катализаторы на основе хлорирующей окиси алюминия. Однако, чтобы поддерживать высокую активность катализатора, необходимо непрерывно вводить в сырье хлорорганические соединения, например, таких как хлориды углерода - CCl_4 , C_2Cl_4 , потому что в ходе изомеризации на алюмоплатиновых катализаторах происходит потеря хлора, которая ведет к снижению активности. Отсюда газ от органических хлоридов требуется промывать щелочью в специальных скрубберах. Кроме того, для компенсации потерь хлора требуется непрерывная доставка значительного количества хлорорганических соединений.

Следует также отметить, что данный тип катализаторов имеет еще ряд недостатков, например, чувствительность к действию каталитических ядов,

поэтому сырьё проходит гидроочистку и осушку, чтобы избавиться от серы, азота и воды. Кроме того, они почти неспособны к регенерации. Это всё приводит к тому, что при использовании катализатора данного типа, растут капитальные затраты.

Катализаторы третьего типа содержат сульфатированные оксиды металлов. В них прекрасно сочетаются достоинства низкотемпературных и среднетемпературных катализаторов. Однако, есть один недостаток у катализаторов, содержащих сульфатированные оксиды металлов – это поддержание высокого соотношения водород : сырьё [11]. Водород выделяют из изомеризата с помощью компрессора и сепаратора, подавая циркулирующий ВСГ.

Катализаторы в виде платины, нанесенной на сульфатированный оксид циркония ($\text{Pt/ZrO}_2\text{-SO}_4$), тоже получили большой интерес. На этом катализаторе эффективно гидрируется значительное количество бензола. Также следует выделить катализатор $\text{Pt/WO}_3\text{-ZrO}_2$, имеющий высокую активность и селективность [12]. Это легко объясняется тем, что атомы водорода обладают достаточно быстрой поверхностной диффузией, поэтому имеют способность превращаться в протоны и гидрид-ионы, увеличивая при этом селективность и активность катализатора.

Существует еще несколько видов катализаторов. Катализатор изомеризации н-гептана на основе оксида молибдена. Этот катализатор обладает высокой устойчивостью к соединениям серы и не требует предварительной гидроочистки сырья, однако из-за низкой кислотности данный катализатор имеет низкую активность в реакциях изомеризации.

Жидкофазные катализаторы (это ионные жидкости, изготавливаемые на основе расплава солей) просты в изготовлении и использовании, имеют высокую эффективность в процессах переработки углеводородов, в том числе и в изомеризации. При использовании жидкофазных катализаторов в процессе изомеризации необходима секция для разделения продуктов реакции и ионной жидкости. Данный вид катализатора можно использовать при изомеризации

н-гептана, но избирательность процесса значительно понижается из-за протекания параллельных реакций крекинга и диспропорционирования, которые приводят к образованию бутана, пентана и гексана, а также высокомолекулярных углеводородов (C_8 - C_{12}).

Галогенированные глиноземные катализаторы получили широкое распространение в изомеризации фракций C_5 - C_6 . Их недостаток - низкая устойчивость к следам серы, азота и влаги. Содержание серы и воды в сырье и водороде должно быть менее 1 мг/кг, а максимальное содержание азота - 0,1 мг/кг [13]. Эти требования обуславливают необходимость сверхтонкой сушки сырья и водорода, глубокой гидроочистки, а также требуется непрерывная доставка значительного количества органических соединений хлора, что вызывает повышенную коррозию оборудования и необходимость утилизации кислотных отходов. Основным недостатком хлорированных катализаторов при гептан-фракционной изомеризации является их высокая крекирующая активность.

Не так давно катализатор, представляющий собой вольфрамсодержащий диоксид циркония, привлек внимание исследователей как перспективный материал для производства твердых кислотных катализаторов линейной изомеризации парафинов. Наиболее активная форма диоксида циркония - тетрагональная. Он может быть преобразован в моноклинную структуру в случае спекания оксида при высокой температуре. Вольфрамовые частицы стабилизируют кристаллический диоксид циркония в тетрагональной форме и тем самым предотвращают спекание.

Исходя из различных исследований и испытаний, катализаторы изомеризации, используемые для парафиновых углеводородов фракций C_5 - C_6 , оказались неэффективными для изомеризации фракции C_7 из-за высокой крекирующей активности при изомеризации н-гептана. Но стало известно, что катализаторы изомеризации C_7 -углеводородов должны обладать высокой кислотностью и дегидрирующей способностью, поэтому они должны быть бифункциональными.

1.1.2 Технологии процесса изомеризации

Процесс изомеризации заключается в преобразовании низкооктановых малоразветвленных углеводородов, а именно парафинов нормального строения с низким октановым числом, в изопарафины, имеющие более разветвленное строение, а также более высокое октановое число.

На изменения октанового числа прямое влияние имеет температура, поэтому, чтобы получить более разветвленные углеводороды и повысить октановые числа изомеризата, следует снижать температуры, потому что при повышении температуры ускоряются процессы гидрокрекинга, что ведет к закоксуыванию катализатора. Влияние температуры на октановое число изомеризата представлено на рисунке 1.1.

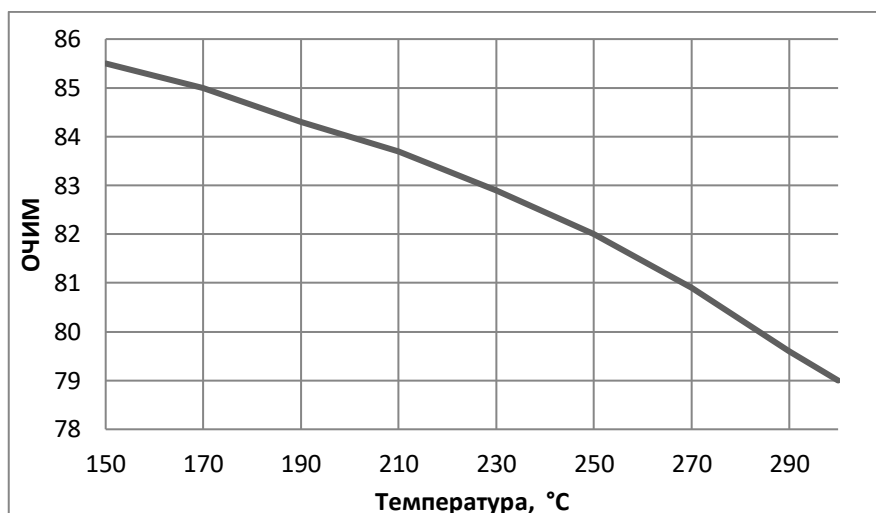


Рисунок 1.1 - Влияние температуры на октановое число изомеризата [14]

Чем ниже температура процесса, тем большая глубина изомеризации достигается „за проход“. Для достижения полного превращения исходного сырья процесс изомеризации осуществляют по схеме с рециркуляцией непревращенных углеводородов. Отсюда вытекает первый тип классификации технологий изомеризации - по аппаратному оформлению [14]:

- 1) «за проход»;
- 2) с рециклом н-пентана;
- 3) с деизогексанизацией и рециклом гексанов;
- 4) с рециклом гексанов и н-пентана.

Далее будут рассмотрены несколько основных отечественных и зарубежных технологий процесса изомеризации.

С давних пор достигла известности отечественная технология «ИЗОМАЛК-2», которая по-прежнему является уникальной российской разработкой в области изомеризации [15].

Она разработана для изомеризации пентан-гексановых фракций и уже давно эксплуатируется не только в России, но и за рубежом. Данная технология основана на применении широкоизвестного низкотемпературного катализатора изомеризации СИ-2, свойства которого были рассмотрены выше. Компания ООО НПП «Нефтехим» сама занимается разработкой и выпуском катализаторов данного типа.

Реакторный блок «Изомалк-2» включает в себя один или два реактора с промежуточным охлаждением газопродуктового потока. Выбор технологической схемы установки зависит от состава сырья. Данная технология позволяет перерабатывать пентан-гексановые фракции со значительным количеством бензола (до 5-8 %) и углеводородов C_7 до 10% с применением специальных технических решений.

Ниже на рисунках 1.2-1.5 изображены схемы изомеризации по технологии «Изомалк-2» на катализаторе СИ-2, отличающиеся требованиями по октановому числу.

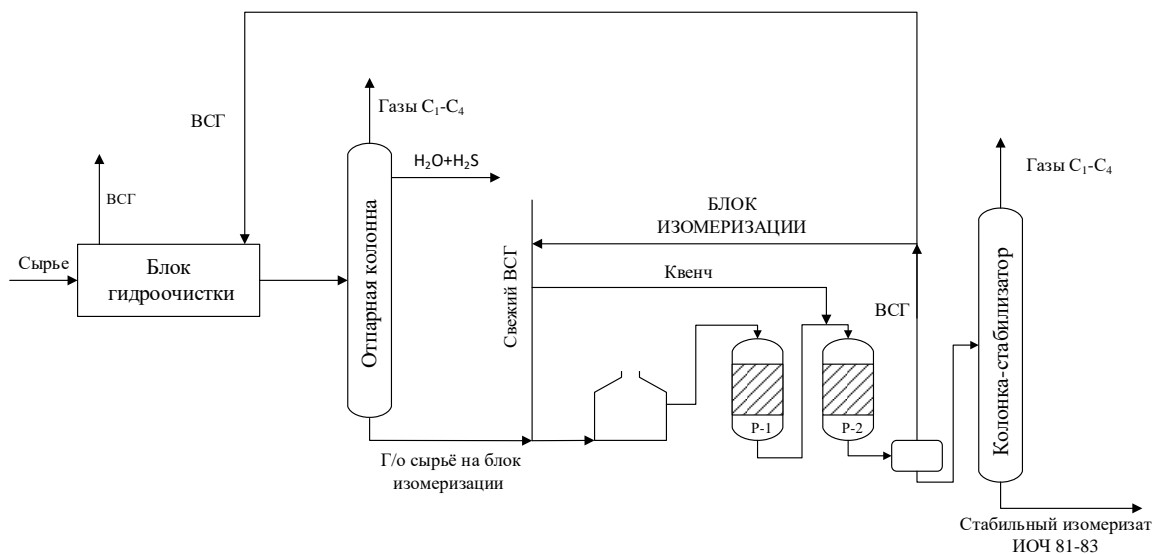


Рисунок 1.2 – Блок-схема установки изомеризации «за проход» [15]

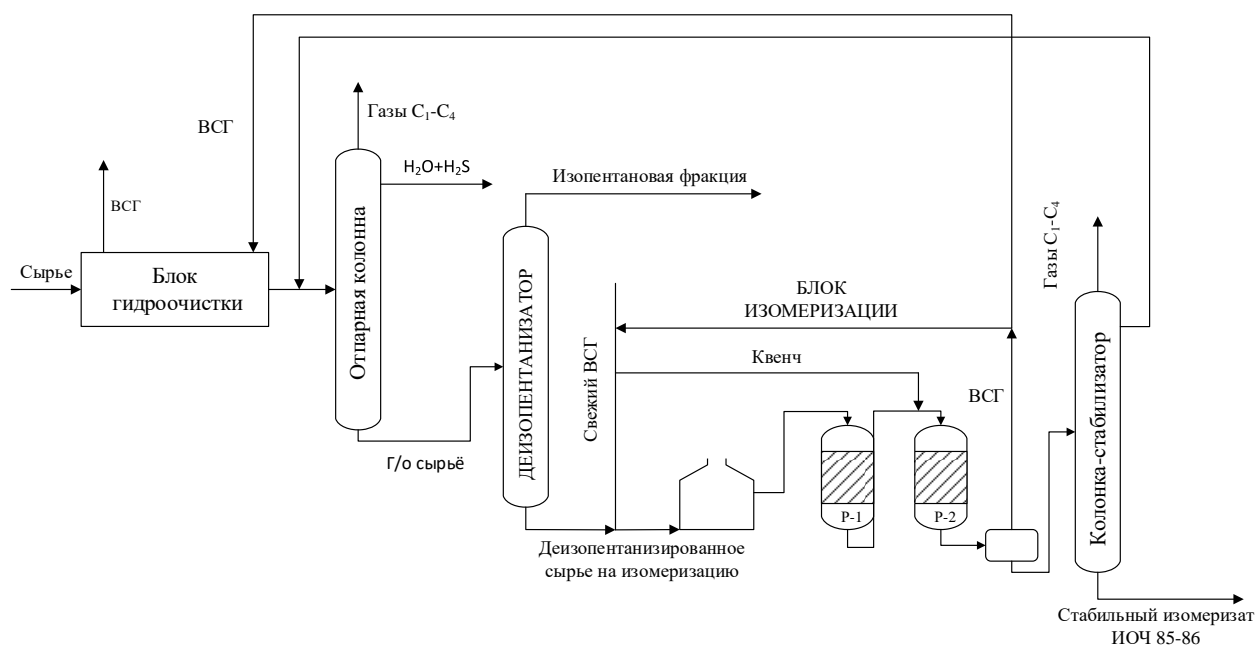


Рисунок 1.3 – Блок-схема установки изомеризации с рециклом н-пентана [15]

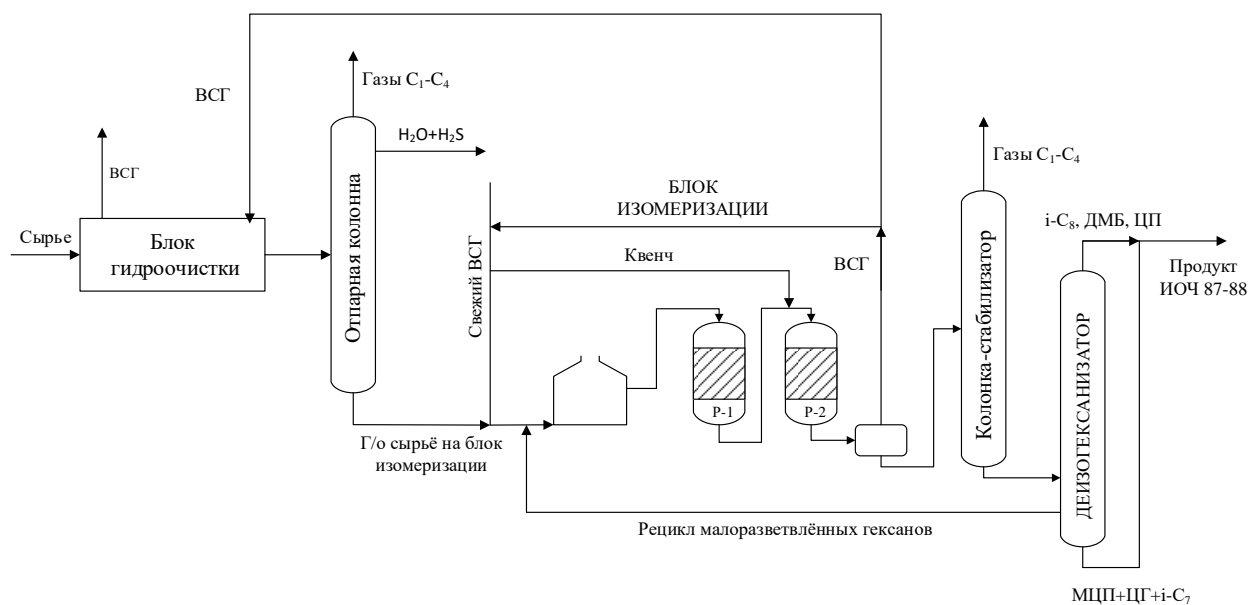


Рисунок 1.4 – Блок-схема установки изомеризации с деизогексанизацией и рециклом гексанов [15]

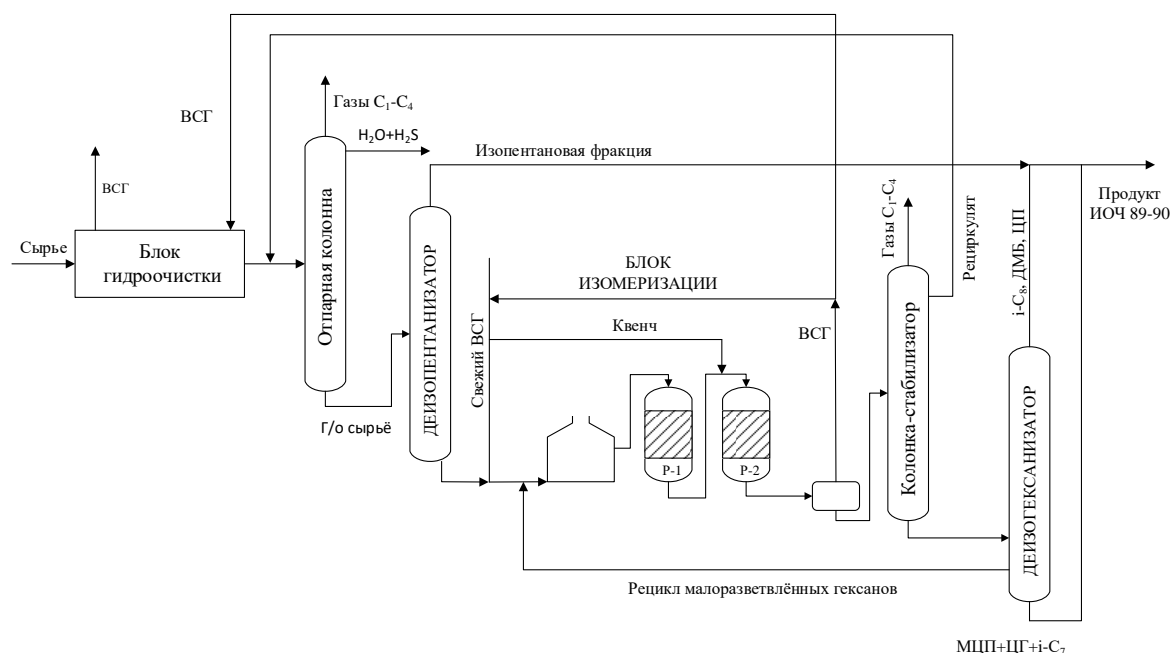


Рисунок 1.5 – Блок-схема установки изомеризации с рециклом гексанов и н-пентана [15]

Осенью 2010 свою первую работу по данной технологии года начала крупнейшая установка изомеризации легких нефтяных фракций «Изомалк-2» на Омском НПЗ. Установка признана крупнейшей в России с мощностью 800 000 тонн изомеризата в год и входит в тройку самых мощных установок такого типа в мире. Выпускаемое на данном заводе автомобильное топливо полностью соответствует стандартам Евро-5.

На механизмы превращения углеводородного сырья также влияет применение различных типов катализаторов, от которого зависит механизм превращения углеводородного сырья. Для увеличения длительности его работы, процессы изомеризации ведут под давлением в атмосфере водорода.

Рассмотрим подробнее второй вид классификации технологий изомеризации - по типу катализатора:

- изомеризация на цеолитных катализаторах;
- изомеризация на хлорированных катализаторах;
- изомеризация на катализаторах с сульфатированным оксидом циркония.

В технологической схеме процесса на цеолитных катализаторах должны присутствовать трубчатые печи либо иные огневые подогреватели, чтобы нагреть газовую смесь сырья до температуры реакций изомеризации [16].

Вторым критерием в данных схемах является высокое соотношение водород : сырьё, из-за потребности водорода не только для процесса изомеризации, но также для деароматизации и гидроочистки сырья.

Поэтому для подачи циркулирующего ВСГ в схему процесса входит компрессор, а также сепаратор, служащий для отделения ВСГ (рисунок 1.6).

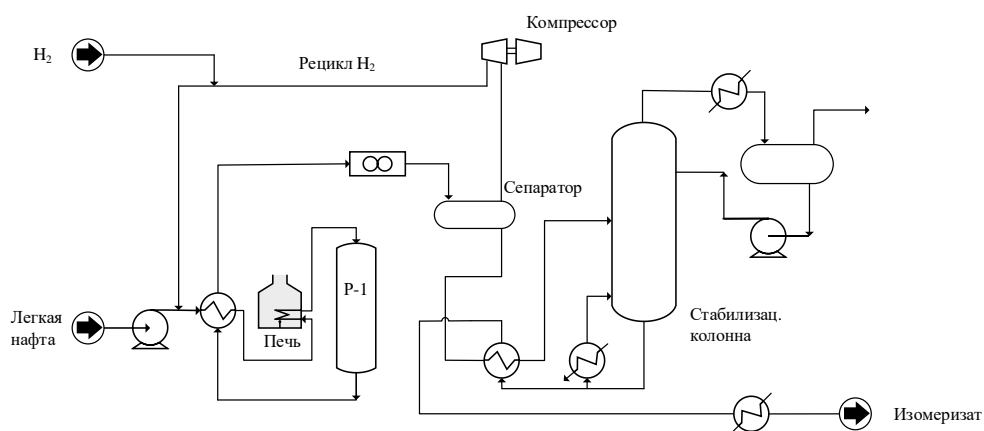


Рисунок 1.6 - Схема процесса изомеризации на цеолитных катализаторах [17]

Для процесса изомеризации на хлорированных катализаторах, требуется непрерывная подача в сырьё водорода, а также соединений, содержащих хлор. В технологическую схему включен скруббер для щелочной промывки от хлоридов. Также схема данной технологии содержит в себе предварительную гидроочистку и осушку сырья (рисунок 1.7).

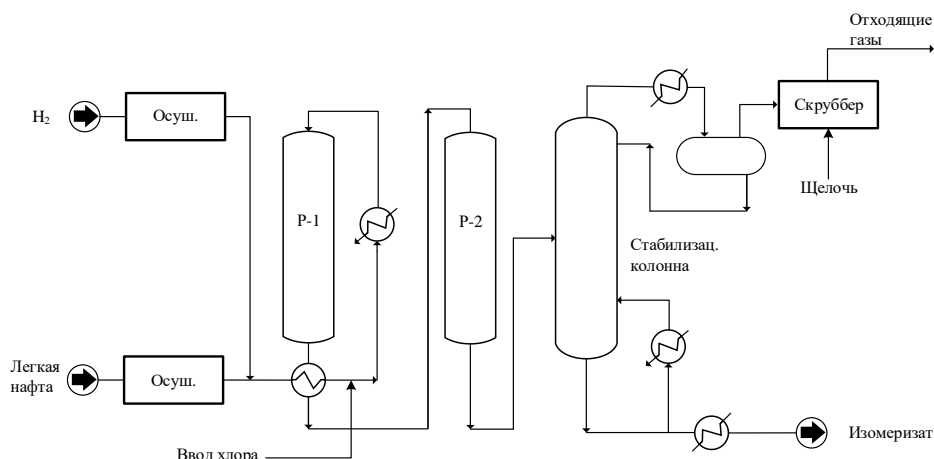


Рисунок 1.7 - Схема изомеризации на хлорированных катализаторах [17]

Технологическая схема изомеризации на катализаторах с сульфатированными оксидами металлов схожа со схемой изомеризации на цеолитных катализаторах. Отличие двух схем заключается лишь в отсутствии печи (рисунок 1.8).

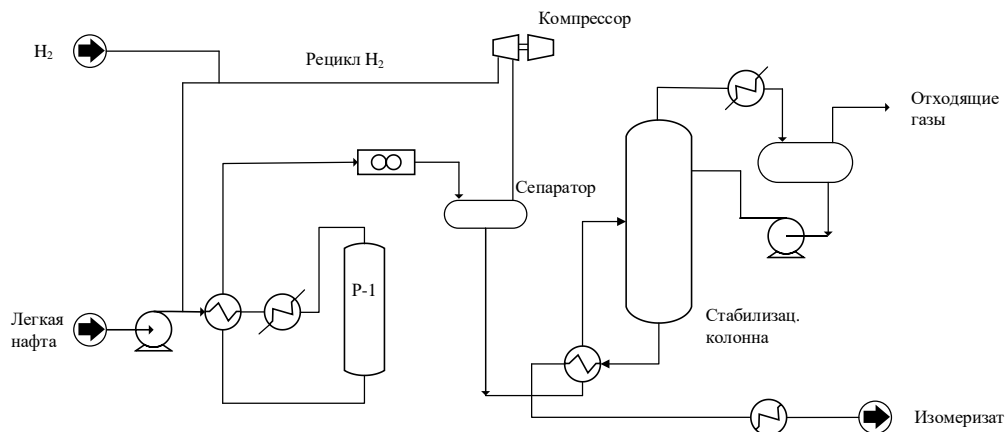


Рисунок 1.8 - Схема процесса изомеризации на катализаторах, содержащих сульфатированный оксид циркония [17]

Технологические схемы процесса изомеризации аналогичны, а технологии отличаются друг от друга благодаря применению различных температурных режимов и эксплуатационных характеристик катализаторов, которые были рассмотрены в разделе выше.

1.1.3 Отечественный и зарубежный опыт повышения эффективности процесса изомеризации

В наше время процесс изомеризации развивается с каждым днем. В мире появляются все новые и новые технологии. Каждый производитель по-своему оптимизирует процесс, стремится сделать его более эффективным и экономически выгодным.

Как говорилось ранее, основным разработчиком данного процесса в России является ООО «НПП Нефтехим». Научно-производственное предприятия представляет на рынке технологии «Изомалк» с первой по четвертую, каждый раз модернизируя ее под новые требования. Также для каждой усовершенствованной технологии улучшают катализаторы для повышения эффективности процесса изомеризации.

Технология «Изомалк-3» на катализаторе СИ-3 обладает важными преимуществами по сравнению с технологиями, использующими хлорированные катализаторы [15]:

- не требуется подача хлорсодержащих реагентов и, соответственно, отсутствует секция щелочной очистки сухого газа;

- ввиду отсутствия агрессивных реагентов не требуется применение коррозионно-стойких материалов и отсутствуют отходы, требующие утилизации или захоронения;

- катализатор устойчив к проскокам серы, азота и воды, технологические нарушения не приводят к безвозвратной потере активности, что позволяет эксплуатировать его без предварительной гидроочистки сырья.

- высокая устойчивость катализатора к микропримесям каталитических ядов обеспечивает длительный межрегенерационный период, а его способность к регенерации - срок службы не менее 8 лет.

Еще одной из известных технологий в настоящее время является технология «Peton» для процесса изомеризации углеводородов C_5 - C_6 . Лицензиаром данной технологии является ООО «Пентон» в городе Уфа. Она направлена на максимальное увеличение бензина октанового числа путем создания оптимальных условий работы катализатора и на снижение потребления энергии.

Технология «Peton» имеет ряд преимуществ, например, позволяет получать фракцию изогексана с ОЧ до 93-94. Кроме того, благодаря изомеризации легких бензиновых фракций вторичного происхождения данная технология позволяет вовлекать низкооктановую бензиновую фракцию (к примеру, рафинированное масло) в производство продукции по стандарту Евро-5. Имеет маленький удельный расход энергии на фракционирование. Срок окупаемости не более 0,5 года.

В результате многолетних исследований и экспериментов ООО «НПП Нефтехим» разработаны катализатор и технология, позволяющие получать высокооктановый продукт – изомеризат из низкооктановой фракции C_7 -

углеводородов (фракции 70-105°C). Разработанная технология изомеризации получила название «Изомалк-4». Данная технология прошла опытную и опытно-промышленную проверку и не имеет аналогов в мире. В 2017 году технология изомеризации C₇-фракции «Изомалк-4» получила статус Национального проекта.

В основе данной технологии лежит уникальный катализатор СИ-4, который обладает высокой селективностью, стабильностью и устойчивостью к ядам. Изомеризации гептанов по технологии «Изомалк-4» проводят при температурах от 160 °С до 200 °С.

По технологии «Изомалк-4» подготовка сырья осуществляется на стандартном блоке гидроочистки и может быть реализована либо путем модернизации установок, либо путем нового строительства.

Главным отличием данной технологии комбинированной переработки является выделение C₇-фракции и ее изомеризация на отдельной установке по разработанной ПАО «НПП Нефтехим» технологии.

Таблица 1.1 – Данные патентования взаимных установок изомеризации гептановой фракции

Страна-заявитель		Страна патентования						Количество патентов		
		Япония	Нидерланды	США	Россия	Италия	Франция	Евросоюз	Общее	Национальное
Япония		1						1	2	1
Нидерланды					1			1	2	-
США				4	1			3	8	4
Россия					4				4	4
Италия				1	1				2	-
Франция							2		2	2
Количество патентов	Общее	1	-	5	7	-	2	5	20	11

В настоящее время ведутся широкие исследования по разработке катализаторов для процесса изомеризации гептановой фракции. Исходя из

данных патентования взаимных изобретений (таблица 1.1), можно сказать, что крупнейший рынок продуктов технологии изомеризации C_7 -углеводородов и подбор катализатора для процесса принадлежит европейским странам, России и США. Эти две страны являются наиболее активными в разработке новых решений. Они подавали заявки на патенты на изобретения в национальные патентные ведомства по 4 раза каждый.

Италия разрабатывает катализатор на основе оксида металла III-IV групп (в основном алюминий и цирконий, чаще - сульфатированный диоксид циркония).

Дания патентует катализатор на основе ионной жидкости с солью металла в качестве добавки или без нее.

Компании Франции предлагают катализатор на основе оксида алюминия с пропитанным фосфором и нитридом вольфрама.

Разработки в США более разнообразны: наряду с изомеризацией C_7 - C_8 -фракций на таких известных катализаторах, как платина на основе хлорированного и фторированного оксида алюминия (RU №2012395, US №3078323), проводятся научные исследования по созданию катализаторов на основе сульфатированного оксида циркония (Россия и Италия). Повышение прочности и активности гранул катализатора, достигается внедрением таких металлов, как Fe, Mn, Co (EP №0408318), Ni, Co, Mo, Cu (US №5866748), Mn, Ni, Fe (EP №1002579).

Катализаторы, содержащие углеводородный заместитель, благородные металлы VIII группы на соединениях алюминия, либо на γ - Al_2O_3 , описаны в патенте Нидерландов.

В Японии ведется разработка катализатора на основе платины и вольфрамированного диоксида циркония. США также имеют патенты на вольфрамированный диоксид циркония (US № 5382730, № WO 95/02262). Они используют эту композицию в качестве катализатора для раскрытия циклических углеводородов.

1.2 Современное состояние процесса каталитического риформинга бензинов

Несмотря на ужесточение экологических требований к выпускаемым бензинам, процесс каталитического риформинга все еще является одним из ведущих в современной переработке нефти. Ограничения по содержанию ароматических соединений, приводят к уменьшению доли риформата, но, несмотря на это, продолжается рост мощностей данного процесса благодаря увеличению общих мировых объемов по потреблению бензинов.

В процессе каталитического риформинга протекают химические реакции, в результате которых низкооктановые прямогонные бензины и тяжелая нефть, поступающие с установки ректификации нефти превращаются в риформат, с содержанием высокооктановых соединений, среди которых есть бензол.

Основными реакциями процесса риформинга являются [19]:

- дегидрогенизация нафтенов с образованием ароматических углеводородов;
- дегидроциклизация парафинов в ароматические соединения;
- изомеризация парафинов и нафтенов;
- дегидрирование парафинов в олефины;
- гидрокрекинг парафинов.

Первые три реакции являются целевыми, за счет образования ароматики, увеличивают октановые числа компонентов для дальнейшего производства автомобильных бензинов. Дегидрирование и гидрокрекинг должны быть минимизированы, потому что являются побочными реакциями. Благоприятными условиями для протекания целевых реакций являются наличие низких давлений и высоких температур.

Реакции дегидрирогенизации и дегидроциклизации являются эндотермическими, поэтому требуется постоянный нагрев поступающего потока после каждого реактора, путем постоянного пропускания ее через

секцию печи. Все реакции, кроме гидрокрекинга, выделяют водород, который можно использовать в процессах гидроочистки и гидрокрекинга.

Промышленные схемы обычно состоят из серии трех-шести реакторов с неподвижным или подвижным слоем катализатора. Исходное сырье, направляемое на процесс каталитического риформинга, сначала подвергается гидроочистке для удаления серы, азота и металлов.

В непрерывном процессе риформинга катализатор можно регенерировать в одном из реакторов и обычно от одного до двух раз в день без простоя производства. В полурегенеративных системах регенерация всех реакторов с катализаторами осуществляется одновременно через несколько месяцев (иногда и через год). Ужесточение норм по содержанию бензола в автомобильных бензинах, ограничивают использование данного процесса для повышения октановых чисел продуктов переработки нефти.

Однако процесс каталитического риформинга по-прежнему служит для получения одного из базовых высокооктановых компонентов производства автомобильных бензинов, как в России, так и за рубежом. Именно бензины каталитического риформинга в наибольших количествах (56,2 % об.) входят в состав автомобильных бензинов, получаемых на НПЗ в Российской Федерации. А доли, например, изомеризата и алкилата составляют всего 1,5 % об. и 0,3 % об. соответственно [20]. И это значительно ниже, чем в западных странах.

В настоящее время с каждым годом на НПЗ происходит постоянная модернизация установок процесса риформинга, заключающаяся в ужесточении технологического режима с целью получения высокооктановых компонентов бензина с октановым числом 98-100 единиц. Ужесточение может заключаться, например, в понижении давления. Чтобы снизить давление на установках, требуется вводить в процесс высокостабильные катализаторы и устанавливать дополнительный реактор, чтобы увеличить загрузку катализатора, который осуществляет процесс дуалформинг – непрерывная

регенерация катализатора. Это позволяет увеличивать срок эксплуатации катализатора, а также в головных реакторах уменьшает жесткость процесса.

Таким образом, современные процессы риформинга основаны на модернизации уже имеющихся установок, но с приоритетным использованием новых отечественных катализаторов, либо за счет разработки новых катализаторов и типа реакторных устройств, стабильностью их работы, а также увеличения глубины переработки сырья. Совершенствование технологии процесса риформинга позволило уменьшить рабочее давление более чем в десять раз.

1.2.1 Катализаторы процесса риформинга бензиновых фракций

Основными видами катализаторов для процесса риформинга являются бифункциональные катализаторы, в которых оба компонента – металл и оксид играют активную роль. Такие катализаторы представляют собой кристаллы платины, нанесенные на оксид алюминия. Платина должна быть диспергирована по поверхности оксида алюминия так, чтобы было доступно максимальное количество активных металлических центров для дегидрирования.

Реакции гидрирования/дегидрирования, дегидроциклизации и гидрогенолиза катализируют металлические центры катализатора. Изомеризация, гидрокрекинг иногда и дегидроциклизация протекают на оксидном компоненте. Для уменьшения активности платины применяют ее сульфидирование, с целью уменьшения основной части реакций гидрогенолиза или катализируемого металлом крекинга. В результате отравления платины, выход жидких продуктов повышается, а производство легких газов, в частности метана, сокращается.

Межрегенерационный период катализаторов в реакторе с неподвижным слоем составляет больше года. Для увеличения срока эксплуатации и уменьшения эффекта накопления кокса в катализаторы добавляются модификаторы - рений и, в меньшей степени, иридий.

В установках с подвижным слоем катализатор протекает через реакторы и непрерывно регенерируется в отдельном регенерационном аппарате, который является частью петли реактор-регенератор. Условия процесса намного более суровы, что сокращает срок службы катализатора и требует нескольких дней для регенерации. В катализатор с подвижным слоем добавляют элементы, такие как олово и германий, для увеличения выхода жидких продуктов, ароматических соединений и водорода за счет снижения активности платины [21]. Эти компоненты также обеспечивают некоторую стабилизацию катализатора только относительно платины.

Одной из основных эксплуатационных характеристик катализаторов является активность, которая отвечает глубину превращения сырья. Содержание ароматических соединений является показателем активности.

За выход водорода и жидких целевых продуктов отвечает следующая эксплуатационная характеристика – селективность катализатора. Она обеспечивает максимальное протекание целевых реакций, а именно ароматизации, и минимизирует активность катализатора в побочных реакциях, например, гидрогенолиза, который приводит к образованию газообразных углеводородов.

Сохранение во времени первоначальной активности и селективности обеспечивает третья характеристика – стабильность катализатора. Она отвечает за продолжительный срок службы и межрегенерационный период.

Еще одной важной характеристикой катализатора является механическая прочность. Чем больше ее значение, тем катализатор более устойчив к раздавливанию и истиранию.

Отечественные катализаторы, например, серии АП состоят из платины, распределенной по всему объему промотированного фтором или хлором оксида алюминия. Некоторые катализаторы этой серии, чтобы подавить побочные реакции гидрогенолиза, осерняют при изготовлении.

В более современных катализаторах серии КР вместе с платиной применяют металлический промотор – рений. Его введение обеспечивает

повышенную стабильность, а также уменьшение содержания платины и снижения рабочего давления. Всё это увеличивает выход риформата. Но существенным недостатком применения полиметаллических катализаторов является необходимость более глубокой очистки сырья от примесей.

В настоящее время в технологиях процесса риформинга на отечественных катализаторах наряду с сериями АП и КР, применяют катализаторы серии РБ. Например, фирмой «ОЛКАТ» был разработан новый полиметаллический шариковый катализатор РБ-44У марки Ш [22]. Этот катализатор предназначен для установок с неподвижным слоем. Его гранулы имеют идеальную сферическую форму, а носитель изготавливается из высокочистого порошка гидроксида алюминия. Высококачественный шариковый катализатор РБ-44У обеспечивает выход риформата 88,9 масс. % с октановым числом 96-98 единиц (по ИМ) и имеет широкий ряд преимуществ: полное отсутствие пылеобразования, высокая прочность, однородная плотность слоя, удобство в эксплуатации, не требует специального оборудования для уплотнения слоя при загрузке, в процессе работы не утрамбовывается, имеет высокие показатели активности и селективности.

НПФ «ОЛКАТ» занимается постоянной разработкой и усовершенствованием катализаторов, поиском новых решений для их оптимизации. В настоящее время был разработан специальный катализатор марки СГ-3П-М для получения компонентов автомобильных бензинов, который обеспечивает высокий выход риформата 92 масс. % с октановым числом 95-96 единиц по ИМ [22]. Данный катализатор превосходит результаты всех платино-рениевых композиций по показателям промышленной эксплуатации. Имеет высокую активность – работает при низких температурах процесса, а также высокую объемную скорость, т.е. данного катализатора по количеству требуется в два раза меньше, чем традиционного.

Еще один высококачественный полиметаллический алюмоплатиновый катализатор РБ-55Д, предназначен для производства высокооктановых

компонентов автомобильных бензинов с октановым числом 100 единиц по ИМ. Он применяется для установок с непрерывной регенерацией, обеспечивает высокую работу и высокий выход риформата, низкие потери платины и низкую истираемость, а также высокую термостабильность и длительный срок службы.

Поколения катализаторов продолжают меняться, но платина всегда остается неизменным компонентом. Фирма «UOP» использует самые передовые технологии для достижения разных целей. Они предлагают оборудование для циклического, стационарного и непрерывного риформинга.

В духе непрерывных инноваций «UOP» представила два новых катализатора [18]. Новейший катализатор R-560 для установок с неподвижным слоем представляет собой оптимизированный высокоэффективный катализатор, который обеспечивает хорошие эксплуатационные характеристики и максимальную гибкость производственного процесса. Он обладает наивысшей активностью, стабильностью и продолжительностью рабочего цикла и может увеличить выход риформата. Еще один новейший катализатор R-334 способен обеспечивать еще более высокий выход продукта, водорода и ароматических соединений, что приводит к увеличению прибыльности.

Еще одна зарубежная фирма «Axens» тоже совершенствует старые и разрабатывает новые катализаторы для оптимизации процесса, например, катализаторы типа RG-582. RG-682. PR-9 и PR-15 [11].

Катализаторы серии RC для процесса непрерывного регенерационного риформинга были разработаны ООО «НПП Нефтехим» [15]. Эксплуатационные характеристики катализаторов этой серии весьма конкурентоспособны по сравнению с другими катализаторами всемирно известных производителей катализаторов.

Катализатор RC-12 является высокоактивным платиново-оловянным катализатором для установок с подвижным слоем, предназначенным для получения риформиата с максимальным выходом и октановым числом, также

в тяжелых работах имеет низкий уровень коксования, высокую механическую прочность и плотность, длительный срок эксплуатации.

Еще одним из преимуществ данных катализаторов является их совместимость. Катализаторы серии RC применяют как для полной, так и для частичной замены во время работы, поскольку они совместимы с катализаторами, используемыми в большинстве работающих риформеров.

В настоящее время разработаны две основные марки катализаторов, которые отличаются между собой физическими и химическими свойствами: RC-12 и RC-120. Они представляют собой модифицированный алюмо-платиновый катализатор сферической формы для риформинга с подвижным слоем. Эти катализаторы были успешно испытаны и рекомендованы для применения в действующих установках. Выбор конкретной марки катализатора зависит от рабочих условий в установке и необходимости полной или частичной замены действующего катализатора.

Также ООО «НПП Нефтехим» были разработаны катализаторы риформинга серии REF для полурегенеративных установок с неподвижным слоем. Катализаторы REF-21, REF-23 и REF-24 имеют хорошую репутацию на российских НПЗ [15].

Катализаторы REF-125 и REF-130, также представляют собой модифицированный алюмо-платиновый катализатор только для риформинга с неподвижным слоем, которые отличаются более высокой стабильностью. REF-125 и REF-130 обеспечивают высокую производительность с точки зрения активности, избирательности, цикла обслуживания и общего срока службы. Между собой эти две марки отличаются по соотношению платины и рения.

Ведущие лицензиары процесса риформинга - фирмы «UOP» и «Axens» также играют большую роль в разработке платино-оловянных шариковых катализаторов для риформинга с непрерывной регенерацией. Фирма «UOP» внедрила целых пять новых серий данных катализаторов [18]. Преимуществами катализатора R-160 является меньшее количество платины

и увеличение насыпного веса. Катализатор R-170 отличается увеличением выхода риформата. R-230 обладает наименьшим коксообразованием и максимальной термостабильностью.

Фирма «Axens» выпустила новую серию шариковых катализаторов CR-700 с целью получения риформата для автомобильных бензинов и AR-500 для варианта рифоминга с получением ароматических соединений [11]. Представленные новые катализаторы отличаются высоким выходом ароматических соединений, а также обладают повышенной термостабильностью и удельной поверхностью.

1.2.2 Технологии процесса каталитического риформинга

Каталитический риформинг — это процесс, используемый для превращения низкооктановой нефти в высокооктановые компоненты смешения автомобильных бензинов. Как уже говорилось ранее, реформирование — это совокупность нескольких реакций, которые происходят одновременно, включая крекинг, полимеризацию, дегидрирование и изомеризацию. В зависимости от свойств исходного сырья — нефти, с различным содержанием углеводородов, а также используемых катализаторов могут быть получены продукты риформинга с высокими концентрациями толуола, бензола, ксилола и других ароматических соединений, используемых при смешении бензинов.

Побочный продукт риформинга — водород, отделяется в процессе рифоминга для переработки и использования в других процессах. Каталитический риформер состоит из секции реактора и секции извлечения продукта. Секция приготовления сырья состоит из комбинации гидроочистки и дистилляции, которая позволяет подготавливать сырье в соответствии с требованиями.

Каталитические риформеры работают как при низких, так и при высоких давлениях. Некоторые системы каталитического риформинга непрерывно регенерируют катализатор. Для этого один из реакторов убирают

из системы для регенерации катализатора. В иных установках катализатор регенерируют во время самого процесса.

Выбор технологии проведения процесса каталитического риформинга, зависит от выбора режима регенерации катализатора. Наибольшее количество установок по миру используют следующие типы технологий [23]:

- процесс риформинга с периодической регенерацией катализатора;
- регенерация катализатора по циклическому типу;
- риформинг с постоянной регенерацией.

Самой популярной технологией риформинга на данный момент можно назвать технологию с периодической регенерацией. На установках процесса данного типа температура составляет от 470 °С до 520 °С, а рабочее давление от 1,4 МПа до 3,1 МПа. При этом выход риформата имеет следующие значения: от 80% по массе. до 88 мас. % [24]. Межремонтный пробег установок составляет больше года. Производимый автомобильный бензин по исследовательскому методу имеет октановое число от 94 до 98 единиц.

Регенерация катализатора по циклическому типу является характеризуется более жесткими условиями ведения процесса, поэтому является менее популярной. В основном данный тип используют на американских установках. Температура процесса каталитического риформинга с циклической регенерацией катализатора находится в пределах от 510 °С до 560 °С. Рабочее давление составляет 0,9-2,2 МПа [25]. Из этого следует, что катализатор имеет небольшие циклы между регенерациями (от 5 до 40 дней), но до полной отработки выдерживает до 600 циклов. При использовании данного типа можно получать риформат с октановым числом от 95 до 103 единиц по ИМ.

Самый прогрессивный тип технологии - риформинг с постоянной регенерацией — позволяет осуществлять процесс в лучших термодинамических условиях. Каталитический риформинг по третьему типу технологии проводят при низких давлениях (от 0,35 до 0,9 МПа) и температурах до 550 °С. Межрегенерационный цикл катализатора может

достигать трех лет. Получаемый по данной технологии риформат достигает значений октанового числа от 100 до 102 единиц.

Также еще существует ряд различных коммерческих процессов каталитического риформинга. Основными из них являются платформинг (platforming), энергоформинг (powerforming), ультраформинг (ultraforming) и магнаформинг (Magnaforming Process) [26].

1.2.2.1 Платформинг (Platforming)

Платформинг был первым процессом с использованием платиновых катализаторов на оксиде алюминия. Первая установка с периодической регенерацией катализатора фирмы «UOP» была запущена в эксплуатацию в 1949 году. Технология «UOP» используется более чем в 50 % всех установок риформинга во всем мире [18].

Процесс платформинга был адаптирован к биметаллическому катализатору, как и для периодической регенерации, так и для непрерывной. «UOP» предлагает полурегенеративные установки, которые используют ступенчатую загрузку катализатора с целью увеличения производительности. А также предлагают применение усовершенствованных полиметаллических катализаторов, которые в разы увеличивают выход продукта риформинга.

Первым этапом в процессе платформинга является подготовка подачи нефти с целью удаления примесей. Гидроочищенное сырье смешивают с водородом, нагревают в печи и пропускают через ряд последовательно установленных реакторов с неподвижным слоем катализатора. После каждого реактора сырье возвращается в печь. Поток, выходящий из последнего реактора, охлаждается и направляется в сепаратор. Из верхней части сепаратора удаляется поток водородсодержащего газа и направляется на рециркуляции. Жидкий продукт из нижней части сепаратора направляется в колонну стабилизации. Из верха колоны выделяют легкие углеводороды, которые в дальнейшем отправляются установку газофракционирования. С низа колоны отбирается продукт каталитического риформинга – риформат.

На рисунке 1.25 показана упрощенная технологическая схема каталитического риформинга.

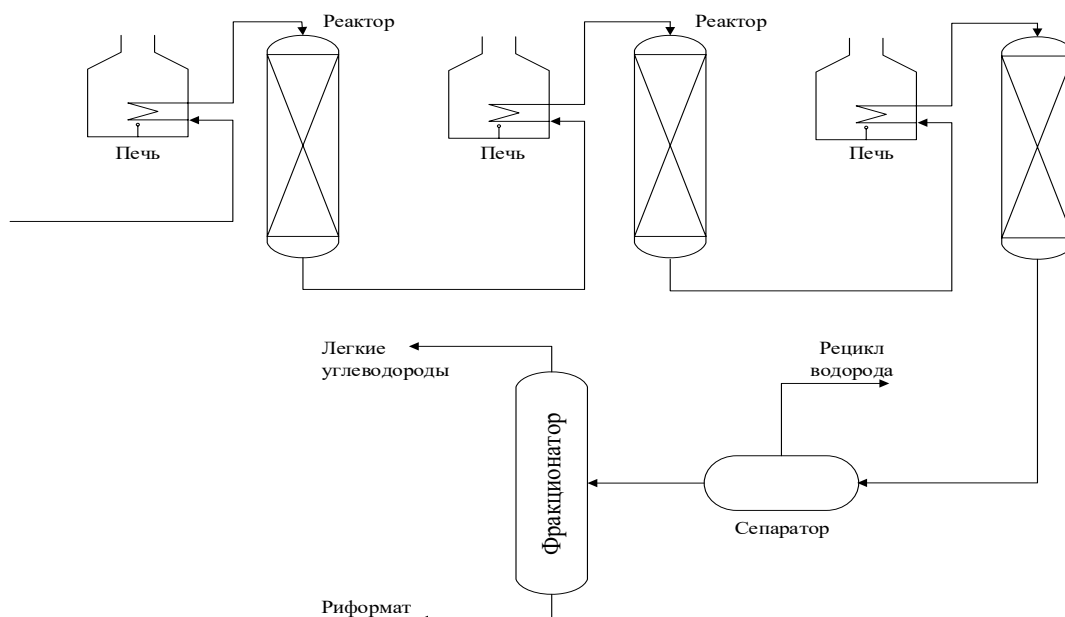


Рисунок 1.10 - Принципиальная схема процесса платформинга [26]

1.2.2.2 Процесс пауэрформинга (Powerforming)

Технологию пауэрформинга предлагает «ExxonMobil» для производства компонентов бензиновых смесей из низкооктановой нефти, а также большого количества водорода, который может быть использован, например, для гидроочистки или в других процессах.

Установки пауэрформинга работают с периодической и циклической регенерацией, а также имеют запатентованную каталитическую систему, адаптированную под конкретные запросы клиента. Главным преимуществом данной технологии является то, что она включает в себя конкурентоспособные по стоимости установки для устройств с невысокой мощностью, но с получением продуктов, октановое число которых составляет 98 единиц, и длительными межрегенерационными циклами.

В процессе пауэрформинга используется ступенчатая загрузка катализатора, которая позволяет сохранять высокую стабильность, хорошую селективность и обеспечивает адекватное поддержание активности катализатора. В нем используется высокоактивный катализатор KX130 с очень высокой стабильностью и высоким выходом бензола и толуола [26].

Данная технология риформинга включает в себя четыре последовательно соединенных реактора и дополнительный подвижный реактор, которым можно заменить любой из четырёх реакторов с целью регенерации, не останавливая работу всего блока. Частота регенерации варьируется в соответствии с изменяющимися целями процесса, а также в условиях высокой жесткости и низкого давления, поскольку скорость отложения кокса на катализаторе невелика. Поэтому максимальный цикл работы реактора составляет 6 лет. Регенерация обычно выполняется по заранее определенному графику, чтобы избежать одновременной регенерации двух или более реакторов.

1.2.2.3 Процесс ультраформинга

Технология, основанная на процессе ультраформинга компанией «Амосо» используется для обогащения как низкооктановых, так и высокооктановых компонентов, а также ароматических соединений. Процесс представляет собой циклическую систему, в реакционную секцию которой включен вращающийся реактор с неподвижным слоем катализатора. Система может быть адаптирована для работы трех реакторов с радиальным движением потока и периодической регенерацией, соединенных последовательно.

В этом процессе используются запатентованные катализаторы высокой прочности, позволяющие проводить при низких давлениях операции с более тяжелыми условиями, а также частую регенерацию. Каталитическая система имеет относительно низкое содержание примесей, и ее предполагаемый срок службы составляет 4 года для циклической работы и до 8 лет для полугенеративной работы [26]. Ротационный реактор при циклическом режиме работы может заменить любой реактор, в котором необходимо проведение регенерации слоя катализатора.

Процесс ультраформинга также предназначен для получения высокочистых ксилолов и толуола, которые в дальнейшем, перед стадией экстракции, можно отделить прямой перегонкой. А бензиновую фракцию

извлекают путем экстрактивной дистилляции. Данный процесс имеет высокий выход риформата и водорода, а также высокую мощность. Тем не менее, в последние годы новые ультраформеры не были лицензированы.

При проведении любых технологий процесса каталитического риформинга нужно быть предельно внимательным. Существует вероятность возникновения пожара в случае утечки или выброса газообразного продукта риформинга или водорода. Рабочие процедуры частично направлены на контроль горячих точек во время запуска. Безопасное обращение с катализатором очень важно. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы не сломать и не раздавить катализатор при загрузке слоев, так как мелкие осколки могут проникнуть в оборудование и вывести его из строя. Также важны меры предосторожности при регенерации или замене катализатора и средства защиты от пыли. Существует вероятность воздействия выбросов сероводорода и бензола, возникающих в результате утечки. Также могут возникнуть неорганизованные выбросы оксида углерода и сероводорода во время регенерации катализатора. Поэтому очень важны меры предосторожности и правила безопасности проведения процесса.

1.2.3 Методы снижения содержания бензола в риформате

Как говорилось ранее, с каждым годом ужесточение требований по содержанию ароматических углеводородов, в частности бензола, затрагивают процесс модернизации процесса риформинга, поскольку, как правило, именно с риформатом (40-70%) поступает основная доля этих токсичных веществ в состав автомобильных бензинов [27].

Содержание бензола в бензинах в настоящее время ограничивается в зависимости от национальных стандартов. Значения варьируют от 1 % до 5 %, именно по новым экологическим требованиям в бензинах пятого класса количество бензола не должно превышать 1 % об [6].

Существует несколько распространенных методов снижения бензола. Выбор метода предприятием зависит от технологической схемы и целей

переработки. Одним из простых вариантов решения проблемы является проведение риформинга с постоянной регенерацией катализатора.

Данная технология имеет ряд преимуществ: высокий выход и качество получаемого продукта и водородсодержащего газа, достаточно глубокую ароматизацию сырья и получение бензинов риформинга с улучшенными экологическими характеристиками. Риформинг с непрерывной регенерацией проводится при более низких давлениях, что влечет за собой положительные аспекты – уменьшение летучести риформата и, следовательно, понижение давления насыщенных паров, а также происходит снижение содержания бензола в риформате на 20 % относительно технологии с периодической регенерацией.

Следует отметить, что значительным минусом применения технологии с постоянной регенерации является ее дороговизна. Поэтому предприятия занимаются усовершенствованием старых и разработкой новых катализаторов и способов их регенерации.

А также в технологии с периодической регенерацией используют дополнительный реактор, с циркулирующим слоем катализатора. В последние годы Россия является наиболее частым лицензиатом усовершенствованного аппаратного оформления с улучшенными технологическими режимами.

Также на нефтеперерабатывающих заводах существует еще два основных метода по снижению бензола в риформате, разработанные фирмой «UOP» [28].

Первым методом является предфракционирование. Он заключается в удалении бензола и бензолобразующих компонентов из сырья процесса риформинга, благодаря увеличению его температур кипения до 100 °С (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Схема получения компонента смешения бензина с предфракционированием [28]

Однако, в результате использование данного метода фракционный состав риформата утяжеляется и образуется большое содержание низкооктановой фракции 70-100 °С.

Поэтому отрицательным аспектом применения данного метода является получение прямогонной фракции с низким октановым числом и превышающим нормы по содержанию бензола, которая в дальнейшем требует квалифицированной переработки, что влечет дополнительные капиталовложения.

Второй методом по снижению концентрации бензола составляет постфракционирование (рисунок 1.12). Он основан на выделении из риформата легкой части, обогащенной бензолом, путем ректификации. Чтобы концентрация бензола в рифорате не превышала 1 % об., нужно поддерживать температуру конца кипения отгоняемой бензолсодержащей фракции около 85 °С.

Извлекаемую бензолсодержащую фракцию нецелесообразно использовать для компаундирования даже низкооктановых бензинов из-за высокого содержания бензола. Поэтому в дальнейшем ее перерабатывают одним из следующих способов [29]:

- экстракция бензола из катализата;

- алкилирование бензола олефинами;
- гидрирование бензола в циклогексан;
- гидроизомеризация бензола в метилциклопентан.

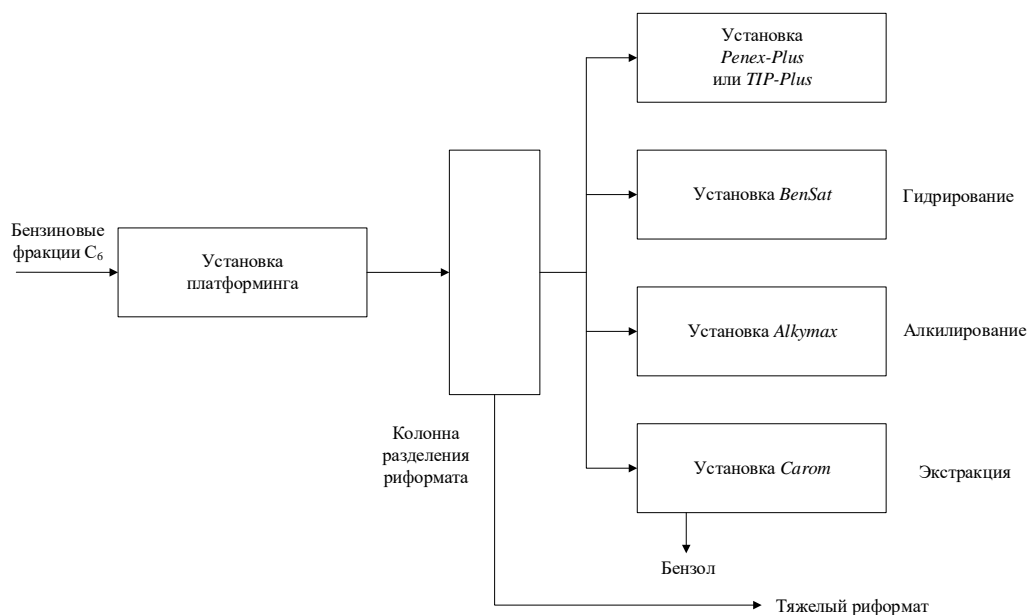


Рисунок 1.12 – Схема получения бензина с постфракционированием [28]

Проблема процесса переработки бензола экстракцией требует высоких капитальных вложений и затрат на эксплуатацию, поэтому является рентабельной только при высоких мощностях.

Процесс гидрирования бензола до циклогексанов проводят на отдельных установках либо в комплексе с изомеризацией фракции C_5 - C_6 , с помощью схемы совместного гидрирования бензола из легкой прямогонной фракции и из бензолосодержащей фракции процесса риформинга. В результате данного процесса почти весь бензол гидрируется на неподвижном слое катализатора с отсутствием заметных побочных реакций. Для его проведения требуется небольшой избыток водорода, который смешивается с жидким сырьем. Однако получаемый продукт – циклогексан – имеет меньшее октановое число по сравнению с октановым числом сырья. Поэтому в дальнейшем требуется проведения процесса изомеризации.

Наиболее эффективный метод снижения концентрации бензола в риформате представляет процесс гидроизомеризации. В НФП «ОЛКАТ» была разработана новая технология «Деболк» [22]. Преимуществом данного

процесса является остаточное содержание бензола (не более 0, 1 % об.) и повышение октановой характеристики получаемого продукта за счет дополнительного протекания реакций изомеризации парафинов. Побочной реакцией является лишь процесс гидрокрекинга парафинов. Также для гидроизомеризации бензолсодержащей фракции разработан специальный катализатор К-150Б, имеющий высокую селективность и межрегенерационный цикл 2-3 года. Сущность данной технологии заключается том, что бензол в результате реакций превращается в метилциклопентан, который имеет октановое число выше, чем циклогексан.

1.3 Компаундирование товарных бензинов

Процесс компаундирования компонентов бензинов является одним из основных и завершающим процессом при производстве товарных автомобильных бензинов. Рациональное смешение углеводородных потоков позволяет получать продукцию, отвечающую современным экологическим требованиям и эксплуатационным характеристикам.

Базовыми компонентами, вовлекаемыми в процесс компаундирования автомобильных бензинов, являются продукты процессов переработки нефти – высокооктановые компоненты с высоким содержанием ароматических соединений, получаемые в результате процессов каталитического риформинга и крекинга, а также высокооктановые продукты процессов изомеризации и алкилирования для повышения экологических характеристик товарных бензинов за счет отсутствия в них ароматики и олефинов.

Также для повышения эксплуатационных характеристик в процесс компаундирования вовлекают присадки и добавки. Например, для повышения испаряемости бензинов добавляют легкие углеводородные газы, а спирты и эфиры – для повышения детонационных характеристик.

Наиболее важными показателями при разработке рецептуры товарного бензина являются давление насыщенных паров либо испаряемость, октановое число, плотность, вязкость, детонационная стойкость и содержание таких компонентов как сера, бензол, ароматические и олефиновые углеводороды.

1.3.1 Методы расчета физико-химических характеристик компонентов смешения и товарных бензинов

1.3.1.1 Определение давления насыщенных паров.

Одной из нормируемых физико-химических характеристик компонентов автомобильных бензинов является ДНП или упругость паров, косвенно характеризующая испаряемость топлива и его пусковые качества.

Для таких жидкостей как бензин, имеющих неоднородный состав, давление насыщенных паров зависит от объема парой фазы. Поэтому его определение проводят при стандартной температуре и постоянном соотношении фаз жидкости и пара. С увеличением температуры значения испаряемости увеличиваются.

В настоящее время известно большое количество методов определения ДНП компонентов товарных бензинов.

Наиболее используемым является статистический метод, позволяющий измерять ДНП в широком интервале температур и давлений. Он основан на измерении при определенной температуре давления пара над жидкостью, с которой находится в равновесии с помощью простых приборов, например, манометра, либо специальных датчиков или расчетных путем.

Одним из простых и востребованных методов определения упругости нефтяных паров является стандартный метод с использованием бомбы Рейда (рисунок 1.13). Бомба состоит из двух камер: топливной 1 и воздушной 2 с соотношением объемов соответственно 1:4, соединенных с помощью резьбы.



Рисунок 1.13 – Бомба Рейда [30]

Давление, создаваемое парами испытуемого топлива, фиксируется манометром 3, прикрепленным к верхней части воздушной камеры. Испытание проводят при температуре 38,8°C и давлении 0,1 МПа, обеспечиваемой специальной термостатированной баней.

Давление насыщенных паров испытуемой жидкости определяют по формуле [30]:

$$P_{\text{ж}}^0 = P_{\text{м}} - P_{\text{атм}} \cdot \frac{t - t_0}{t_0 + 273}$$

1.3.1.2 Определение плотности.

Одним из широко распространенных методов измерения плотности нефтепродуктов является ее определение с помощью прибора - ареометра. Градуировка ареометра отнесена к плотности воды при 4°C, и его показания соответствуют ρ_4^{20} . Чтобы определить плотность высоковязкого продукта ($\rho_{\text{н}}$), его разбавляют равным объемом керосина известной плотности ($\rho_{\text{к}}$) и проводят измерения плотности смеси ($\rho_{\text{см}}$). Далее рассчитывают плотность нефтепродукта по формуле [30]:

$$\rho_{\text{н}} = 2 \cdot \rho_{\text{см}} - \rho_{\text{к}}$$

Определение плотности пикнометром дает наиболее точный результат. Пикнометрический метод заключается в сравнении масс нефтепродукта и дистиллированной воды, взятых в одинаковом объеме и при равных температурах. Продолжительность данного метода определения – единственный его недостаток.

Для быстрого определения плотности нефтепродукта и при малых его количествах можно использовать различные эмпирические формулы.

Формула ГрозНИИ [30]:

$$(\rho_4^{20})_{\text{уф}} = \rho_0 \cdot \left(\frac{t_{\text{ср}}}{100} \right)^n$$

Формула БашНИИНП [30]:

$$(\rho_4^{20})_{\text{уф}} = \sqrt{2.841 \cdot (n_D^{20})_{\text{уф}} - 3.468}$$

Плотность топлива тоже является важной характеристикой, так как влияет на протекание процессов смесеобразования. Например, при низких

значениях плотности бензина, поплавков карбюратора может утонуть, тогда произойдет переобогащение смеси вследствие вытекания бензина из распылителя.

1.3.1.3 Определение вязкости.

Вязкость бензинов является важным физико-химическим свойством, потому что именно от нее зависит скорость поступления топлива к двигателю. Различают динамическую и кинематическую вязкости. Первую определяют по сопротивлению движению тела в жидкости, вторую по истечению жидкости через капилляр.

При компаундировании также определяют вязкость нефтепродуктов. По формуле их можно рассчитать в том случае, если вязкости компонентов заменить подвижностью (текучестью) $\psi_{см}$ - обратная вязкости величина, которая рассчитывается по формуле [30]:

$$\psi_{см} = \frac{1}{\nu_{см}} = \frac{m \cdot \frac{1}{\nu_1} + n \cdot \frac{1}{\nu_2}}{m + n}$$

Также вязкость смесей можно определить по номограммам, например, по разработанной Д.Э. Мапстоном на основе уравнения [30]:

$$\lg \left(\frac{\nu_P}{\nu_0} \right) = 10^{-6} \cdot 0,142 \cdot P \cdot (0,0239 + 0,7627 \cdot \nu_0^{0,278})$$

при пользовании номограммы известные величины, например, ν_0 и P , соединяют прямой линией и отсчет получают на третьей шкале.

1.3.2 Подходы к моделированию процесса приготовления автомобильных бензинов

Проведение процесса компаундирования товарных бензинов основано на свойствах имеющихся компонентов и требованиях к получаемому продукту смешения. Чтобы максимально избегать возникновения некондиций, следует заранее определять экономически выгодное соотношение компонентов при получении каждой новой партии автомобильных бензинов. Такую задачу можно решить с помощью компьютерной моделирующей системы, в которой

можно учесть ряд особенностей, значительно осложняющих оптимизацию процесса получения экологически чистых высокооктановых товарных бензинов.

Отрицательные аспекты, которые нужно учесть при моделировании процесса смешения [31]: детонационные свойства потоков, подаваемые на смешение, не поддаются закону аддитивности; компоненты, вовлекаемые в процесс компаундирования, имеют непостоянный состав, поэтому необходим постоянный контроль и своевременное изменение рецептур смешения; количество потоков, в зависимости от мощности производства, может достигать больших количеств.

Поэтому планирование операций проведения процесса компаундирования является важной задачей в нефтеперерабатывающей промышленности. Метод математического моделирования данной системы помогает решить комплекс проблем, который в дальнейшем разделяется на независимые по решениям подзадачи. При изменении каких-либо условий в дальнейшем, эти подзадачи можно объединить и найти новые решения.

Математические модели для задач планирования процесса компаундирования бензинов обычно решают задачи с помощью метода численного линейного программирования [32]. Однако рецептуры смешения являются фиксированными, а характеристиками бензинов присуще нелинейное поведение при смешении компонентов. Поэтому для получения более точных результатов необходимо использовать нелинейное программирование.

Подходы к моделированию процесса можно разделить на две основные категории, которые основаны на различной обработке временной области: дискретная и непрерывная. В моделях дискретной формулировки времени временной горизонт делится на несколько периодов известной длительности с фиксированным временем начала и окончания. В моделях непрерывного времени временной горизонт разбивается на временные интервалы, продолжительность которых определяется оптимизацией.

В наше время разработано несколько моделей процесса компаундирования. Создана непрерывная модель для одновременного планирования задач смешения бензина и операций распределения. Линейность модели поддерживалась за счет использования заданных предпочтительных рецептур. Также разработана модель с общей временной сеткой для всех единиц процесса, а именно для смесителей, резервуаров и т.д., включая вычисленные на практике эксплуатационные ограничения. Обе модели оптимизируют рецептуры, используя индексы смешения.

Также уже разработан трехуровневый алгоритм декомпозиции, с помощью которого можно оптимизировать рецептуру, используя как линейные, так и нелинейные правила смешивания [32]. В данной модели рассмотрены и устранены проблемы распределения смеси и ее размеров, учитывается работа на параллельных смесителях и поворотных резервуаров, а также использование времени настройки, зависящее от продукта.

Для каждого уровня была сформулирована дискретно-временная модель. Первый уровень отвечает за оптимизацию рецептуры смеси, второй уровень разрабатывает производственный график, а третий уровень имеет способность рассчитывать подробный график компаундирования, а также доставки. Решения, полученные с использованием данного подхода, позволяют увеличить время для выполнения больших задач.

В последней разработке модель включает оптимизацию рецептур смешения, проблему распределения смеси и несколько важных операционных функций и ограничений [33]. Алгоритм использует метод, направленный на преобразование сложных многопараметрических выражений с несколькими переменными путем выполнения ряда преобразований логарифмов.

Данная разработанная модель применяется на нефтеперерабатывающих заводах и доказала, что способна в короткие сроки найти глобальные оптимальные решения в производстве автомобильных бензинов.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Все расчеты производились с помощью методического пособия [34]. Для проведения анализа потребителей результатов исследования, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Предлагаемая математическая модель процесса производства автомобильных бензинов имеет достаточно высокий коммерческий потенциал и является ресурсосберегающей технологией. Целевым рынком для данной разработки являются: нефтеперерабатывающие заводы и образовательные учреждения.

На рисунке 4.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением математической модели процесса производства автомобильных бензинов.

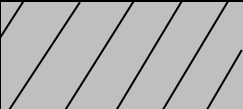
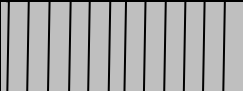



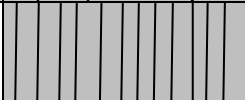
Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Мелкие НПЗ			
Образовательные учреждения			

Рисунок 4.1- Карта сегментирования рынка услуг



Фирма А



Фирма Б



Фирма В

На Рисунке 4.1 показан уровень конкуренции на рынке услуг по применению разрабатываемой математической модели.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 4.1, где Ф – разрабатываемый проект, к1 – разработка первого конкурента (AspenPIMS), к2 – разработка второго конкурента (FoxboroBOSS).

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,13	5	4	4	0,65	0,52	0,52
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,12	5	3	3	0,6	0,36	0,36
3. Простота эксплуатации	0,11	4	3	4	0,44	0,33	0,44
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,13	5	5	4	0,65	0,65	0,52
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,14	5	4	3	0,7	0,56	0,42
2. Цена	0,15	5	3	2	0,75	0,45	0,3
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
Итого	1	39	32	30	4,89	3,97	3,66

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

Основываясь на проведенном анализе конкурентов, можно сказать что проект превосходит конкурентные исследования, что связано с ценой, производительностью, а также скоростью разрабатываемого проекта. Однако уязвимость разрабатываемого проекта в том, что требуется больше времени на его выполнение.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской разработки, который применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Предварительная матрица представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Предварительная матрица SWOT-анализа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
<p>С1. Оптимизация процесса производства бензинов на НПЗ.</p> <p>С2. Повышение эффективности переработки нефти.</p>	<p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p>

Продолжение таблицы 4.2

<p>С3. Улучшение качества производимой продукции.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов.</p> <p>С6. Расчет оптимальных параметров проведения процесса.</p> <p>С7. Уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина.</p>	<p>Сл2. Необходимость доработки модели в связи с возможными изменениями норм качества и стандартов продукции.</p> <p>Сл3. Слабая эффективность сбытовой сети.</p> <p>Сл4. Наличие конкурентов.</p> <p>Сл5. Отсутствие рекламной политики для продвижения на рынке.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Интеграция в комплексную систему моделирования производства автомобильных бензинов с учетом влияния процессов нефтепереработки на качество конечного продукта.</p> <p>В2. Повышение экономичности и энергоэффективности процесса</p> <p>В3. Постепенное увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных.</p> <p>В4. Внедрение модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов.</p> <p>В5. Внедрение разработанной модели на предприятиях нефтепереработки для оптимизации процесса производства автомобильных бензинов.</p> <p>В6. Сокращение затрат путем оптимизации процесса производства бензинов.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Изменение законов, правил и норм качества и стандартов продукции в нефтехимической отрасли.</p> <p>У2. Увеличение спроса на новые технологии у конкурентов.</p> <p>У3. Развитие сбытовой сети конкурентами.</p> <p>У4. Ограничения на экспорт научной разработки.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У6. Внедрение других моделей на предприятия НПЗ.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 4.3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

	Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.	C6.	C7.
	B1.	+	+	+	0	+	+	0
	B2.	+	+	+	+	+	+	+
	B3.	+	+	+	-	+	+	+
	B4.	-	-	+	-	+	+	-
	B5.	+	+	+	+	+	+	0
	B6.	+	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 4.3

	Слабые стороны проекта							
Возможности проекта		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.		
	B1.	+	-	+	+	+		
	B2.	+	+	-	-	-		
	B3.	-	+	-	-	-		
	B4.	-	+	-	+	-		
	B5.	-	+	+	+	-		
	B6.	0	+	-	0	+		
	Сильные стороны проекта							
Угрозы		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.	C6.	C7.
	У1.	-	+	+	-	+	+	+
	У2.	+	+	-	-	-	+	-
	У3.	-	+	-	-	-	-	-
	У4.	-	-	-	-	-	-	-
	У5.	-	0	+	-	+	+	+
	У6.	+	+	+	-	+	-	-
	Слабые стороны проекта							
Угрозы		Сл1.	Сл2.	Сл3.	Сл4.	Сл5.		
	У1.	-	+	-	-	-		
	У2.	+	-	+	+	+		
	У3.	+	-	+	+	+		
	У4.	-	-	+	+	0		
	У5.	+	+	-	+	+		
	У6.	+	+	-	+	-		

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Оптимизация процесса производства бензинов на НПЗ. С2. Повышение эффективности переработки нефти. С3. Улучшение качества производимой продукции. С4. Экологичность технологии. С5. Способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов. С6. Расчет оптимальных параметров проведения процесса. С7. Уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой. Сл2. Необходимость доработки модели в связи с возможными изменениями норм качества и стандартов продукции. Сл3. Слабая эффективность сбытовой сети. Сл4. Наличие конкурентов. Сл5. Отсутствие рекламной политики для продвижения на рынке.
Возможности: В1. Интеграция в комплексную систему моделирования производства автомобильных	СиВ: Оптимизация производства автомобильных бензинов и повышение эффективности	СлиВ: Поспособствовать повышению квалификации кадров у потенциальных потребителей.

Продолжение таблицы 4.4

<p>бензинов с учетом влияния процессов нефтепереработки на качество конечного продукта.</p> <p>В2. Повышение экономичности и энергоэффективности процесса</p> <p>В3. Постепенное увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных.</p> <p>В4. Внедрение модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов.</p> <p>В5. Внедрение разработанной модели на предприятиях нефтепереработки для оптимизации процесса производства автомобильных бензинов.</p> <p>В6. Сокращение затрат путем оптимизации процесса производства бензинов.</p>	<p>переработки нефти благодаря данной модели, позволит получить продукты высокого качества, а также способность программы выполнять расчет углеводородного состава компонентов автомобильных бензинов, позволит производить продукцию требуемого состава.</p> <p>Расчет оптимальных параметров проведения процесса способствует энерго- и ресурсоэффективности процесса.</p> <p>Расширение аудитории потребителей путем внедрения модели в образовательную сферу в качестве компьютерного тренажера для обучения студентов.</p>	<p>СЛпВ:</p> <p>Поспособствовать повышению квалификации кадров у потенциальных потребителей. Выбрать интенсивный путь расширения рынка сбыта и задействовать максимальное количество точек сбыта модели процесса.</p> <p>Также следует сформировать комплекс рекламных мероприятий, который обеспечит максимальных охват целевой группы при наименьших материальных затратах.</p> <p>Создать тренировочную версию для обучения студентов основам процесса получения автомобильных бензинов.</p> <p>А также необходимо постоянно работать над улучшением модели и делать ее более гибкой в широком диапазоне изменения условий.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Изменение законов, правил и норм качества и стандартов продукции в нефтехимической отрасли.</p> <p>У2. Увеличение спроса на новые технологии у конкурентов.</p> <p>У3. Развитие сбытовой сети конкурентами.</p> <p>У4. Ограничения на экспорт научной разработки.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У6. Внедрение других моделей на предприятия НПЗ.</p>	<p>СиУ:</p> <p>Устойчивое положение на отечественном рынке нефтепродуктов (в частности уверенность потребителя в качестве продукции компании).</p> <p>Повышение эффективности процесса и его оптимизация простимулируют НПЗ в освоении новых рынков сбыта продукции (как в РФ, так и за рубежом) и сократит угрозу выхода компаний-конкурентов на «потенциальные» рынки сбыта.</p> <p>Получение продуктов высокого качества и уменьшение риска выпуска некондиционных партий бензина, способствует развитию конкурентной среды и финансированию.</p> <p>Более широкий спектр опций, таких как ведение в модель чувствительности к составу сырья и подбор оптимальных параметров для проведения процесса снизит риски внедрения других моделей на НПЗ.</p>	<p>СЛпУ:</p> <p>Увеличение точности расчетов математической модели путем накопления собственной базы данных позволит доработать модель в связи с возможным изменением норм качества и стандартов продукции.</p> <p>Также следует сформировать комплекс рекламных мероприятий, который обеспечит максимальных охват целевой группы при наименьших материальных затратах. Заинтересованности предприятий по внедрению инновационного проекта может стать возможность постепенной модернизации модели в условиях производства, постоянный контакт с операторами, что увеличит шансы на распространение разработанного проекта. Продвижение программы с целью создания спроса.</p>

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации. Для этого заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 4.5).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.5 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	5
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3

Продолжение таблицы 4.5

10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
ИТОГО БАЛЛОВ		51	57

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика выше среднего.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-ОНПЗ»	Разработка рекомендаций по оптимизации блока смешения компонентов товарных бензинов.

В таблице 4.7 представлена иерархия целей проекта и критерии их достижения.

Таблица 4.7 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Установление оптимальных параметров процесса и оптимизация рецептур смешения товарных бензинов.
Ожидаемые результаты проекта:	Повышение эффективности процесса на стадии приготовления товарных бензинов, путем повышения качества компонентов смешения.
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность полученной математической модели (минимальное расхождение между расчетными и экспериментальными значениями) должна составлять не менее 90%
Требования к результату проекта:	Возможность внедрения модели на производство в виде технологической моделирующей системы.

В таблице 4.8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 4.8 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Чузлов В.А., НИ ТПУ, доцент ОХИ ИШПР	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения.	600
2	Ларина Е.Е., магистрант ОХИ ИШПР	Исполнитель по проекту	Выполнение задач по проекту, написание проекта и оформление полученных результатов.	1600
ИТОГО:				2200

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1345164
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2019-10.06.2021
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	10.06.2021

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнений целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе определяется содержание всего проекта.

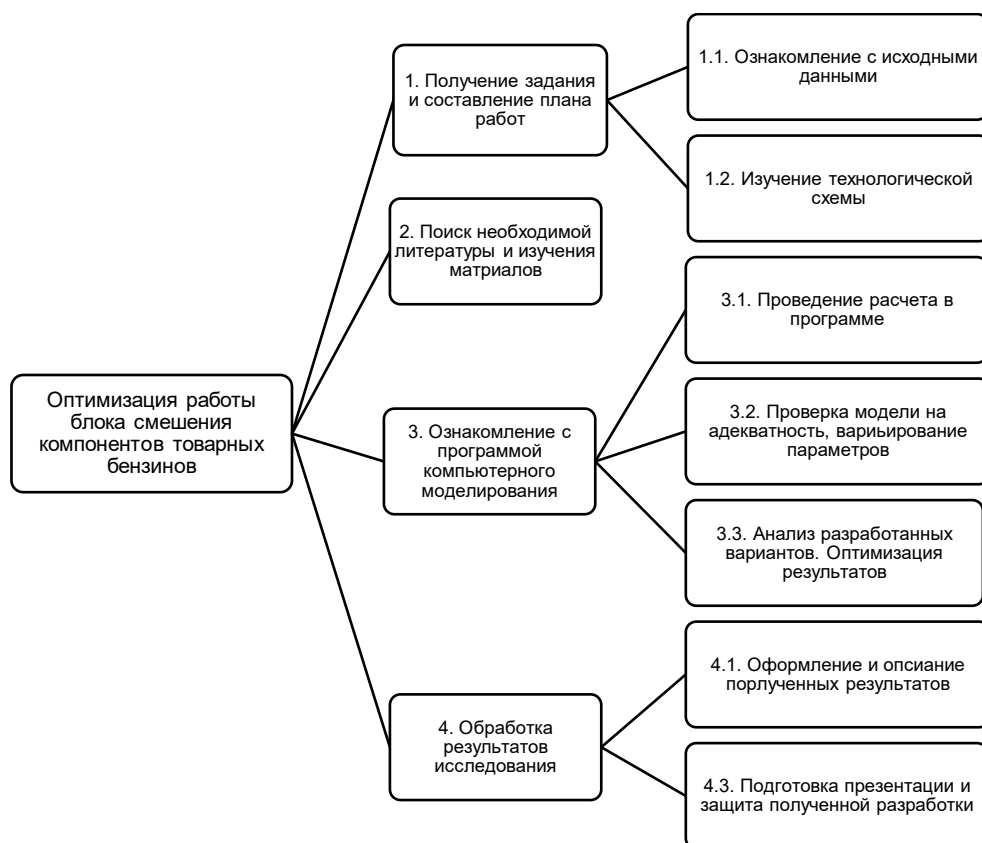


Рисунок 4.2. Иерархическая структура работ по проекту

4.3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Таблица 4.10 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.19	07.09.19	Ларина Е.Е., Чузлов В.А.
Согласование плана работ	7	08.09.19	15.09.19	Ларина Е.Е., Чузлов В.А.
Литературный обзор	138	16.09.19	31.01.20	Ларина Е.Е.,
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	292	01.02.20	20.12.20	Ларина Е.Е., Чузлов В.А.
Составление пояснительной записки	162	21.12.20	31.05.21	Ларина Е.Е.
Оформление презентации, подготовка к защите	8	01.06.21	09.06.21	Ларина Е.Е.,
Защита магистерской диссертации	1	10.06.21	10.06.21	Ларина Е.Е.,
Итого:	615			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Диаграмма Ганта представлена в приложении В таблице В.1.

4.3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Основная заработная плата;
4. Дополнительная заработная плата;
5. Отчисления на социальные нужды;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов). В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага	шт.	350	0,95	332,5
Ручка	шт.	5	25	125
Карандаш	шт.	2	15	30
Ластик	шт.	1	30	48
Чернила для принтера	мл	1	1150	1150
Энергия	кВт	448	2,45	1097,6
Всего за материалы				2783,1
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				83,5
Итого по статье C_m				2866,6

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Персональный компьютер	1	35000	35000
2	Принтер	1	5000	5000
3	Программное обеспечение Microsoft Office	1	7000	7000
4	Лицензия на программный пакет Compounding	1	45000	45000
Итого, руб.:				92000

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$, где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя и исполнителя рассчитывается по формуле: $Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}$ где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	99	99
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни	14	14
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника: $Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$, где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент (определяется

Положением об оплате труда); k_d – коэффициент доплат и надбавок; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

При расчете заработной платы научно-производственного и прочего персонала проекта учитывались месячные должностные оклады работников, которые рассчитывались по формуле:

$$Z_m = Z_b * K_p,$$

где Z_b – базовый оклад, руб.; K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Согласно информации сайта Томского политехнического университета, должностной оклад (ППС) доцента кандидата наук в 2021 году без учета РК составил 31000 руб. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	31000	1	0,02	1,3	40300	2471	212	523852
Магистрант	2500	-	-	1,3	3250	172	212	36464
	Итого $Z_{осн}$							560316

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} * k_{доп},$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 4.15 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.15 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	523852	36464
Дополнительная зарплата	52385,2	3646,4
Итого по статье С _{зп}	576237,2	40110,4

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды: $C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$, где $k_{внеб}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%. Стипендиальные выплаты студентам, магистрам и аспирантам не облагаются налогом.

Отчисления на социальные нужды составляют:

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot (523852 + 52385,2) = 156160,3 \text{ рублей}$$

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями. Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

При разработке данного проекта были использованы услуги интернета. Стоимость месячного тарифа: 700 руб., следовательно, итоговая цена услуги составляет: 16800 руб.

Накладные расходы. Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) = 0,8 \cdot (560316 + 56031,6) = 460989,8$$

где $K_{накл}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Таким образом, затраты проекта составляет 847228,2, которые приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп-ая заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	2866,6	92000	560316	56031,6	156160,3	-	16800	-	460989,8	1345164
Аналог	3500	200000	1050000	105000	284550	-	-	-	924000	2567050

4.3.4 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 4.2.

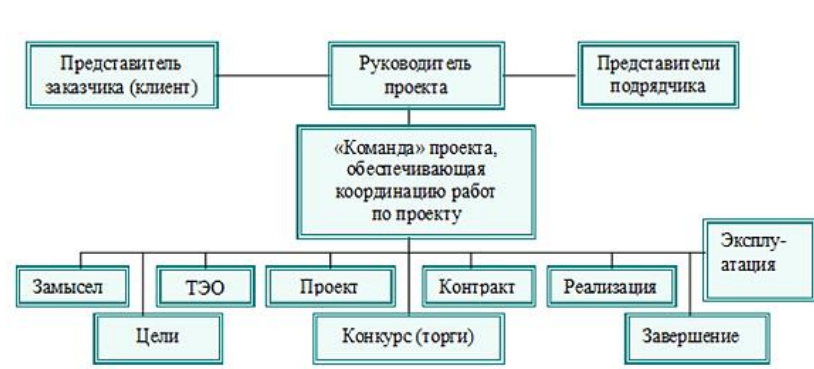


Рисунок 4.2 – Проектная структура проекта

4.3.5 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.3.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по возможным рискам сведена в таблицу 4.19.

Таблица 4.19 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Прекращение финансирования	3	4	Средний	Привлечение инвестиций	Отсутствие интереса со стороны потенциальных потребителей
2	Создание более дешевой модели	3	4	Средний	Оптимизация затрат на реализацию проекта	Повышение уровня конкуренции
3	Трудности внедрения продукта на рынок	4	5	Высокий	Провести анализ рынка	Отсутствие рекламы, высокая конкуренция в области моделирующих программ.

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности; I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году; t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$); n – горизонт расчета; i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 4.20. Работы, связанные с математическим моделированием, имеют высокую рентабельность. Данный вид работ не требует проведения экспериментов. Анализируя стоимость услуг, предлагаемых крупными зарубежными компаниями (AspenTech), можно принять рентабельность проекта 50 %. Амортизационные отчисления 10 %.

Таблица 4.20 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	2017746,5	2017746,5	2017746,5	2017746,5
2	Итого приток, руб.	0	2017746,5	2017746,5	2017746,5	2017746,5
3	Инвестиционные издержки, руб.	-1345164	0,0	0,0	0,0	0,0
4	Операционные затраты, руб.	0	1262364,3	1262364,3	1262364,3	1262364,3
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	755382,2	755382,2	755382,2	755382,2
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	151076,4	151076,4	151076,4	151076,4
7	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	604305,7	604305,7	604305,7	604305,7
8	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	-1345164	613505,7	613505,7	613505,7	613505,7
9	Коэффициент дисконтирования (КД)	1	0,833	0,694	0,578	0,482
10	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	-1345164	511050,3	425773,0	354606,3	295709,8
11	\sum ЧДД	1587139,3				
12	Итого NPV, руб.	241975,3				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %; t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 736216 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.; I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1587139,3}{1345164} = 1,28$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или =0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 4.21 и на рисунке 4.3.

Таблица 4.21 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-1345164	613505,7	613505,7	613505,7	613505,7	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-1345164	736895,8	669610,4	608810,5	553685,2	1223837,8
	0,2	-1345164	675285,1	562602,5	468565,2	390741,2	752030,0
	0,3	-1345164	623402,5	479914,5	368853,2	283733,2	410739,4
	0,4	-1345164	578815,8	413439,9	295082,6	210773,3	152947,5
	0,5	-1345164	540714,5	359935,9	239146,6	160511,9	-44855,1
	0,6	-1345164	506666,5	316970,6	197802,6	124032,0	-199692,4
	0,7	-1345164	476671,8	280490,6	165375,9	97280,0	-325345,7
	0,8	-1345164	450730,5	250495,9	138624,0	77013,3	-428300,3
	0,9	-1345164	426410,5	224554,6	118357,3	62421,3	-513420,3
	1,0	-1345164	407765,2	205098,6	102954,6	51882,6	-577462,9

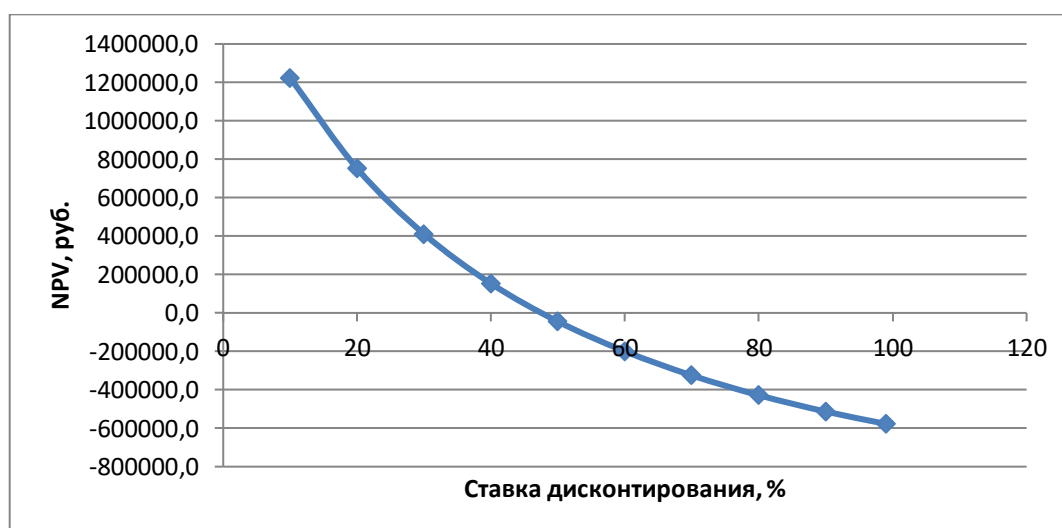


Рисунок 4.3 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь

отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,48.

Запас экономической прочности проекта: $48\% - 20\% = 28\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени. Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 4.22).

Таблица 4.22 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$), руб.	-1345164	511050,3	425773,0	354606,3	295709,8
2	То же нарастающим итогом, руб.	-1345164	-834113,7	-408340,8	-53734,5	241975,3
3	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 3 + (53734,5 / 295709,8) = 3,18$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Ресурсозатратные расчеты технологических условий на действующих установках	Экономичная оптимизация процесса с помощью математической модели

Продолжение таблицы 4.23

Трудности в подборе рецептур смешения товарных бензинов	Получение более высококачественных товарных бензинов
---	--

4.4.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Сравним ресурсную и финансовую эффективность с двумя аналогами, существующими на рынке - BOSS (Blend Optimization and Supervisory System) и Open BPC (Open Blend Property Control), которые управляют важным и завершающим процессом в производстве товарных продуктов, в том числе автомобильных бензинов, – компаундированием.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где: $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности объекта исследования можно определить по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 4.24).

Таблица 4.24 - Сравнительная оценка характеристик разработки и аналогов

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Первый аналог (BOSS)	Второй аналог (OpenBPC)
1. Способствует снижению затрат на внедрения процесса на производстве (снижает материальные издержки)	0,25	5	3	4
2. Простота и удобство в эксплуатации	0,10	4	4	4
3. Оптимизация процесса для повышения производительности (выбор оптимального катализатора или оптимальной технологической схемы)	0,20	5	3	3
4. Определение слабых мест процесса (неправильно подобранный режим или оборудование)	0,20	5	3	4
5. Энергосбережение (улучшение параметров процесса)	0,10	5	5	5
6. Материалоемкость (снижение себестоимости сырья и увеличение выхода продукта за счет проведения процесса при оптимальных условиях)	0,15	4	5	5
ИТОГО	1	4,67	3,83	4,17

По данным в таблице 4.24 рассчитываем интегральный показатель ресурсоэффективности:

- разработки: $I_p = 5*0,25 + 4*0,10 + 5*0,20 + 5*0,20 + 5*0,10 + 4*0,15 = 4,75$;

- первого аналога: $I_{A1} = 3*0,25 + 4*0,10 + 3*0,20 + 3*0,20 + 5*0,10 + 5*0,15 = 3,60$;

- второго аналога: $I_{A2} = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,10 + 5 \cdot 0,15 = 4,05$;

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{\text{финр}}^p$ и аналога $I_{\text{финр}}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}; \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}$$

Рассчитаем значения интегральный показатель эффективности научной разработки и аналогов, соответственно, по формуле:

$$I_{p-ки} = \frac{4,75}{0,237} = 20,04; \quad I_{A-za1} = \frac{3,60}{0,363} = 9,92; \quad I_{A-za2} = \frac{4,05}{0,400} = 10,125$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{финр}}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{\text{финр}}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

А также позволяет убедиться, что данная разработка имеет высокие показатели эффективности и может иметь преимущество на рынке среди аналогов.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 4.25.

Таблица 4.25 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Первый аналог (BOSS)	Второй аналог (Open BPC)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,237	0,363	0,400

Продолжение таблицы 4.25

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	3,60	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	20,04	9,92	10,125
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	2,02	1,98

4.5 Выводы по разделу

По рассчитанной сравнительной эффективности (таблица 26) можно сделать вывод о том, что текущая разработка является эффективной по сравнению с представленным на рынке программным обеспечением с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 241975,3 руб.; индекс доходности $PI=1,28$, внутренняя ставка доходности $IRR=48\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=3,18$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с запасом финансовой прочности 28%.

5 Социальная ответственность

Данный раздел дипломной работы посвящен исследованию оптимальных условий труда инженера. В качестве объекта исследования выступают оборудование, рабочее место инженер-оператора и помещение, в котором оно находится.

Выпускная квалификационная работа заключалась в разработке математической модели процесса производства автомобильных бензинов для повышения эффективности процесса. Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

Выполнение работы проводилось в Инженерной школе природных ресурсов (ИШПР) Томского Политехнического Университета (ТПУ) в отделении химической инженерии (ОХТ).

Экспериментальная часть магистерской диссертации осуществлялась на персональном компьютере (далее ПК) при работе с различными программными обеспечениями. Рабочая зона представляет собой аудиторию, оборудованную системами отопления, кондиционирования воздуха и естественным и искусственным освещением. Также в аудитории находится аптечка первой медицинской помощи, углекислотный огнетушитель для тушения пожара. Рабочее место – стационарное, оборудованное компьютером.

Основными средствами для выполнения выпускной квалификационной работы являлись персональный компьютер с необходимым программным обеспечением и локальная вычислительная сеть с выходом в Интернет.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Целями трудового законодательства являются установление государственных гарантий трудовых прав и свобод граждан, создание

благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей [1].

В трудовом кодексе РФ содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска и так далее.

Работа в офисе относится ко второй категории тяжести труда – работы выполняются при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной величине физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки. Продолжительность рабочего дня работников не должна превышать 40 часов в неделю. Возможно, сокращение рабочего времени. Для работников, возраст которых меньше 16 лет – не более 24 часа в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы [35].

5.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

При выполнении работы по теме математическое моделирование производства автомобильных бензинов одним из важных требований являются разделы, посвященные рабочему месту. Оно должно соответствовать требованиям охраны труда и быть защищенным от влияния вредных и (или) опасных производственных факторов, и её организация должна соответствовать правовым нормам, а также антропометрическим, социальным, психофизическим данным работника.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя» конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля и соответствовать антропометрическим показателям мужчин и женщин с высотой сиденья 420 мм [36].

Рабочее место должно обеспечивать оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием: высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног. Рабочий стул должен быть

подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. Кресло должно обеспечивать человеку соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу и соответствовать требованиям ГОСТ 22269—76 [37].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дисплей на рабочем месте должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову и должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60° [38].

Для выполнения задачи сохранения жизни и здоровья работника при поступлении на работу проводится медосмотр, с целью проверки здоровья кандидата на соответствие. Для сохранения и поддержания здоровья работников, применяют комплексные меры. Они включают в себя средства индивидуальной защиты, которые обеспечивают механическую, термическую, биологическую, химическую, электрическую и радиационную безопасность [39].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

Произведем анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при проведении моделирования процесса производства бензинов, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

В таблице 5.1 указан перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды по ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [40].

Таблица 5.1 - Возможные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении.	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [7].
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны.	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [8]; ГОСТ Р 55710 – 2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [9].
3.Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической цепи.	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [10]; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [11].
4.Психофизиологические производственные факторы.	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы [12]; Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [1];

5.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

5.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Основными параметрами микроклимата является температура, относительная влажность и скорость воздуха. Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов.

Длительное воздействие на человека неблагоприятных показателей микроклимата ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям, поэтому в организации должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата, установленные СанПиН 2.2.4.548-96

«Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [41]. Они представлены в таблице 5.2:

Таблица 5.2 - Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Оптимальные значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С.	Температура поверхностей, °С.	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	22-26	40-60	0,1
Допустимые значения характеристик микроклимата				
Период года	Температура воздуха, °С.	Температура поверхностей, °С.	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20-25	19-26	15-75	0,1
Теплый	21-28	20-29	15-75	0,1-0,2

На рабочих местах пользователей ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата в соответствии с таблицей 5.2. Например, физиологически оптимальной является относительная влажность 40–60 %. Относительная влажность менее 25 % приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей, что приводит к ослаблению организма и снижается работоспособность.

Рекомендуется устанавливать системы охлаждения воздуха для поддержания относительной влажности в оптимальных пределах. Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды предложена искусственная вентиляция или кондиционирование.

5.2.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Плохое освещение негативно воздействует на зрение, приводит к быстрому утомлению, снижает работоспособность, вызывает дискомфорт, является причиной головной боли и бессонницы.

Согласно [42] в помещениях для эксплуатации ПК организовано естественное освещение через светопроемы, обеспечивающее коэффициенты

естественной освещенности (КЕО) не ниже 1,5%. Искусственное освещение представлено комбинированной системой. Поскольку монитор ПК также является источником света, то рекомендуется в целях снижения мерцания экрана устанавливать частоту кадров 60 Гц для ЖКИ–мониторов.

Освещённость на рабочем месте составляет 300-500 лк, для помещений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры и видеодисплейные терминалы; для работников вычислительных центров – 750 лк. Естественная освещенность в дневное время суток в операторной составляет 1,5%, поэтому установлены окна, которые обеспечивают необходимое освещение, и при этом устойчивые к вибрационному воздействию.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп. Необходимо ограничивать прямую блёскость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей в поле зрения не превышает 200 кд/м². Яркость бликов на экране персональных компьютеров не превышает 40 кд/м², а яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, не превышает 200 кд/м², что соответствует параметрам ГОСТ Р 55710 – 2013 [43].

5.2.1.3 Повышенное значение электромагнитного излучения и напряжения в электрической цепи

Источником электромагнитного излучения является любой предмет, работающий на электрическом токе, в нашем случае это компьютер. Электрические установки, к которым относятся ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность. В процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под током.

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Действие

электрического тока на человека приводит к травмам или гибели людей. Для переменного тока частотой 50 Гц допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В, а силы тока – 0,3 мА, для тока частотой 400 Гц, соответственно – 2 В и 0,4 мА, для постоянного тока – 8 В и 1 мА [10].

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются [44]: защитное зануление; выравнивание потенциалов; защитное заземление; электрическое разделение сети; изоляция токоведущих частей; оградительные устройства и другое.

Для контроля состояния электрической изоляции проводов, производят периодические испытания изоляции. Периодическое измерение сопротивления изоляции позволяет своевременно выявить и устранить повреждения.

5.2.1.4 Психофизиологические производственные факторы

Согласно [45] психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на физические и нервно-психические перегрузки. Физические перегрузки подразделяются на статические и динамические, а нервно-психологические — на умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

Поскольку основным каналом получения информации от ПК является монитор, то неизбежно увеличивается нагрузка на зрительную систему.

Ведущими компонентами трудового процесса при работе на компьютере служат однообразные многократно повторяющиеся нагрузки на верхние конечности и постоянное зрительное напряжение, особенно при необходимости моторно-зрительной координации, а также нервно-эмоциональное напряжение, стрессы, связанные с ответственностью за решение выполняемых задач.

Поэтому при работе за компьютером рекомендуется устраивать перерывы. Регламентируемые перерывы продолжительностью 20-30 минут,

являющиеся составной частью режимов труда, устанавливаются через каждые 1-2 часа после начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва [46].

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду

В результате разработки алгоритма процесса производства автомобильных бензинов источниками загрязнения окружающей среды могут стать вышедшие из строя ПЭВМ, оргтехника и бытовой мусор.

Вышедшая из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов [47].

В ходе деятельности организация также создает бытовой мусор (канцелярские, пищевые отходы, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы.

5.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

В рамках нефтеперерабатывающего завода, автоматическая станция смешения бензинов (далее АССБ) является объектом средней степени воздействия на окружающую среду. Далее будут описаны существующие угрозы для окружающей среды.

5.3.2.1 Атмосфера

На атмосферу могут оказывать вредное воздействие выбросы из вентиляционных труб, которые не проходят очистку и выбросы из резервуаров, которые также не очищаются перед выбросом. Однако на установках осуществляется контроль по содержанию в выбросах углеводородов C₁-C₅, бензола, толуола и ксилола, которые не должны превышать установленных норм на предприятии [48].

Общий уровень загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами может быть оценен как низкий - концентрации вредных веществ не превышают соответствующих ПДК. Кратковременное повышение концентрации вредных веществ возможно только при возникновении внештатных ситуаций.

5.3.2.2 Гидросфера

Аварийные ситуации могут оказывать негативное воздействие на гидросферу. При разливе компонентов бензинов или товарной продукции происходит неконтролируемое скопление жидкой фазы на объекте. При попадании разливов нефтепродуктов в сточные воды необходимо провести их анализ на содержание вредных примесей, так как не допускается утечка нефти и нефтепродуктов согласно [49].

Разлив засыпается песком, который затем вывозится на полигон. Не допускается проведение каких-либо огневых работ, эксплуатация насосного оборудования, техники вблизи мест разлива. Разлитый метанол смывается большим количеством воды (в помещении) или засыпается песком, который затем вывозится на полигон. Также на АССБ есть загрязненные дренажные воды, которые спускаются в промышленную канализацию, однако для экологической безопасности существует установленная норма содержания загрязнений в стоках – 1500 мг/л.

5.3.2.3 Литосфера

На АССБ существуют отходы в виде шлама от очистки трубопроводов, емкостей от нефти и нефтепродуктов, которые могут отрицательно влиять на литосферу. Для их утилизации существует специальный контейнер, который вывозится автотранспортом на городской полигон для захоронения промышленных отходов [50].

5.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Перечень мероприятий по охране окружающей среды, направленных на защиту окружающей среды: строительство современных экологичных установок с передовой технологией с одновременным выводом из эксплуатации морально и физически устаревших установок; внедрение новых технологических процессов по очистке газовых выбросов и промышленных стоков, утилизация промтоходов; производство нефтепродуктов с улучшенными экологическими свойствами; внедрение автоматизированной системы экологического мониторинга окружающей среды.

Для борьбы с загрязнением атмосферы, гидросферы и литосферы на установке компаундирования применяют следующие меры: воздух, с компрессорных установок проходит очистку в центробежных циклонах, после чего сбрасывается в атмосферу; совершенствование производства и создания новых технологий (например, безотходная технология для совместного получения АИ–93 и А–76, переход на производство неэтилированного бензина, уменьшение ароматических углеводородов в бензине; каталитический дожиг выбросов; использование котлов утилизаторов для использования тепла отходящих газов с целью снижения теплового загрязнения атмосферы; сооружения линий аварийных сбросов давления в факельную линию.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

К возможным чрезвычайным ситуациям на рабочем месте разработки алгоритма процесса производства автомобильных бензинов выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар. На производстве бензинов могут возникнуть следующие чрезвычайные ситуации: взрыв, разлив компонентов товарных бензинов.

С учетом специфики работы и наличием вычислительной техники в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием вычислительной техники и угрожающий жизни и здоровью работников.

5.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Во время разработки проектируемого решения и при эксплуатации электрооборудования (в данном случае ПК) возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, требующих обеспечения электро – и пожарной безопасности на рабочем месте. Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ПЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

5.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Для обеспечения безопасной эксплуатации модели процесса производства автомобильных бензинов предусмотрена рациональная технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, которая позволяет обеспечить непрерывный процесс производства и стабильную работу оборудования. Также предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.

Для устранения возможности возгорания ПЭВМ и возникновения пожара, согласно [51] при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности: для предохранения сети от перегрузок запрещается одновременно подключать к сети количество потребителей, превышающих допустимую нагрузку; работы за компьютером проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки; иметь средства для тушения пожара (огнетушитель); установить количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и выходов; обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям.

К первичным средствам пожаротушения относятся: огнетушители (порошковые, углекислотные и др.), ящики с песком, асбестовое полотно, вода. Они должны быть в исправном состоянии и окрашены в красный цвет. Эти средства позволяют своевременно ликвидировать очаг возгорания.

Для уменьшения вероятности возникновения пожара на рабочем месте проводят следующие мероприятия [52]: проведение инструктажей по пожарной безопасности; по окончании работы производится отключение электрооборудования, освещения и электропитания; использование только исправного оборудования; курение в строго отведенном месте; назначение ответственного за пожарную безопасность помещения; содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщить об аварийной ситуации диспетчеру и принять меры по ликвидации аварии, руководствуясь «Планом локализации аварийных ситуаций» (ПЛАС). В случае возникновения пожара в здании автоматически срабатывают датчики пожаротушения, и звуковая система оповещает всех сотрудников о немедленной эвакуации из здания в соответствии с планом эвакуации при пожарах и других ЧС.

Далее был произведен расчет времени эвакуации из компьютерного класса по методичке [53].

5.4.4 Расчет времени эвакуации

Для обеспечения безопасной эвакуации людей из помещений и зданий расчетное время эвакуации t_p должно быть меньше необходимого времени эвакуации людей $t_{нб}$: $t_p \leq t_{нб}$.

Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий определяют исходя из протяженности эвакуационных путей и скорости движения людских потоков на всех участках пути от наиболее удаленных мест до эвакуационных выходов. На рисунке 5.1 представлена схема помещения.

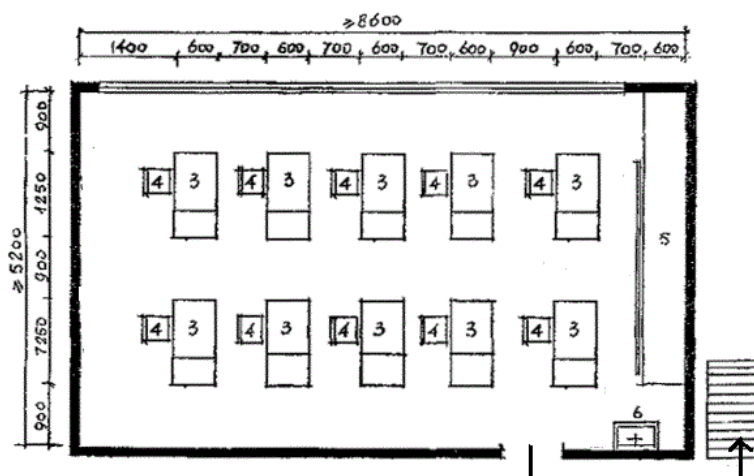


Рисунок 5.1 - Схема помещения: компьютерный стол – 3, стул – 4, шкаф – 5, умывальник – 6

Компьютерный класс располагается на втором этаже (рис. 1) и состоит из 5 одинаковых секций. Путь эвакуации от наиболее удаленной от выхода

точки до выхода наружу состоит из 8 участков. Людские потоки из проходов сливаются с потоком,двигающимся по сборному проходу, пройдя дверной проём, направляются через лестничную клетку наружу.

1. Возможное число людей в помещении.

Так как в помещении ограничено число оборудования, значит, работников будет максимум 10 человек (10 компьютеров).

2. Средняя плотность людского потока.

$$D_{\text{ср}} = N \cdot f / (F_{\text{секц}} - F_{\text{оборуд}}) = 10 \cdot 0,125 / [(5,2 \cdot (8,6 - 0,6 - 0,7)) - 10 \cdot (0,6 \cdot 1,25)] \\ = 1,25 / 30,46 = 0,041 \text{ (чел} \cdot \text{м}^2) / \text{м}^2.$$

f —средняя площадь горизонтальной проекции человека: взрослого в летней одежде 0,1 м², взрослого в зимней одежде—0,125 м², подростка— 0,07 м².

3. Определяем время прохождения из самого дальнего участка пути.

При расчете весь путь движения людского потока делят на участки длиной l и шириной σ .

Участок 1 (от стола до стены). Этот путь проходят максимум два человека. Значит, плотность людского потока на участке 1 составляет:

$$D_1 = 2 \cdot 0,125 / (1,3 \cdot 5,2 - 2 \cdot 1,25 \cdot 0,6) = 0,048 \text{ (чел} \cdot \text{м}^2) / \text{м}^2.$$

Скорость движения людского потока в зависимости от плотности по таблице 1 [18]: $v_1 = 100$ м/мин; значит, длина: $l_1 = 5,2 - 1,8 = 3,4$ м.

Время движения по участку 1: $t_1 = l_1 / v_1 = 3,4 / 100 = 0,034$ мин.

Ширина: $\sigma_1 = 0,7$ м.

По табл. 1 [18]: $q_1 = 4,8$ м/мин; что меньше $q_{\text{max}} = 16,5$ м/мин.

Участок 2 (слияние потоков).

$$q_2 = q_1 \cdot \sigma_1 / \sigma_2 = 4,8 \cdot 0,7 / 0,9 = 3,73 \text{ м/мин;}$$

$v_2 = 100$ м/мин; $t_2 = (0,7 \cdot 2 + 0,6 \cdot 2) / 100 = 0,026$ мин.

Участок 3 (слияние потоков).

Интенсивность движения во всех потоках принимается одинаковой:

$$q_3 = (q_2 \cdot \sigma_2 + q_1 \cdot \sigma_1) / \sigma_3 = (3,73 \cdot 0,9 + 4,8 \cdot 0,7) / 0,9 = 7,46 \text{ м/мин;}$$

$v_3 = 83$ м/мин; $t_3 = 2,6 / 83 = 0,031$ мин.

Участок 4 (слияние потоков).

$$q_4 = (q_3 \cdot \sigma_3 + q_1 \cdot \sigma_1) / \sigma_4 = (7,46 \cdot 0,9 + 3,36) / 0,9 = 11,19 \text{ м/мин};$$

$$v_4 = 62 \text{ м/мин}; t_4 = 2,6/62 = 0,042 \text{ мин.}$$

Участок 5 (слияние потоков).

$$q_5 = (q_4 \cdot \sigma_4 + q_1 \cdot \sigma_1) / \sigma_5 = (11,19 \cdot 0,9 + 3,36) / 0,9 = 14,92 \text{ м/мин};$$

$$v_5 = 45 \text{ м/мин}; t_5 = 2,6/45 = 0,058 \text{ мин.}$$

Участок 6 (дверной проем).

Интенсивность движения в дверном проёме:

$$q_{\text{дв}} = q_5 \cdot \sigma_5 / \sigma_{\text{дв}} = 14,92 \cdot 0,9 / 0,8 = 16,79 \text{ м/мин} < q_{\text{max}} = 19,6 \text{ м/мин.}$$

Перед дверями возможно скопление людей, движение задерживается.

$$\text{Рассчитаем время задержки: } \Delta t = N_{\text{дв}} \cdot f \cdot (1 / q_{\text{дв}} \cdot \sigma_{\text{дв}} - 1 / q_5 \cdot \sigma_5) = 10 \cdot 0,125 \cdot (1 / 16,79 \cdot 0,8 - 1 / 14,92 \cdot 0,9) = 1,25 \cdot (0,074 - 0,074) = 0 \text{ мин.}$$

Значит, скопление людей перед дверьми отсутствует.

Т.к. увеличивается количество людей, значит, плотность людского потока на участке 6 составляет:

$$D_6 = 10 \cdot 0,125 / (2,15 \cdot 7,3 - 1,25 \cdot 7,3) = 0,19 \text{ (чел} \cdot \text{м}^2) / \text{м}^2.$$

Значит, интенсивность по табл. 1 [18]: $q_6 = 13 \text{ м/мин}$; что меньше $q_{\text{max}} = 19,6 \text{ м/мин.}$, следовательно, $v_6 = 55 \text{ м/мин}$; $t_6 = 0,9/55 = 0,016 \text{ мин.}$

Участок 7 (коридор).

$$\text{При } D_7 = 0,19 \text{ (чел} \cdot \text{м}^2) / \text{м}^2, v_7 = 55 \text{ м/мин}; t_7 = 2 \cdot 0,6 + 0,7/55 = 0,035 \text{ мин.}$$

Участок 8 (лестница вниз).

$$\text{При } D_8 = 0,19 \text{ (чел} \cdot \text{м}^2) / \text{м}^2, v_8 = 68 \text{ м/мин}; t_8 = 4,5 \cdot 2 / 68 = 0,132 \text{ мин.}$$

По таблице 2 [18], при объеме помещения $156,52 \text{ м}^3$ определим необходимое время эвакуации: $t_{\text{нб}} = 2 \text{ мин.}$

Расчетное время эвакуации:

$$t_p = 0,034 + 0,026 + 0,031 + 0,042 + 0,058 + 0,016 + 0,035 + 0,132 = 0,374 \text{ мин} < t_{\text{нб}}.$$

Условие безопасности соблюдается. Для исключения возможности несчастных случаев проводят проверку знаний работников, требований безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-2015 [19].

5.5 Выводы по разделу

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, нормы трудового законодательства. Указаны требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, при разработке модели процесса производства автомобильных бензинов.

Произведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникать при проведении исследований на рабочем месте, а также при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Общий уровень загрязнения воздуха рабочей зоны вредными веществами может быть оценен как низкий - концентрации вредных веществ не превышают соответствующих ПДК.

Приведено обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего), рассмотрены требования безопасности, предъявляемые ко всем видам работ, установкам и устройствам, формирующим опасные факторы.

Проанализирован характер воздействия проектируемого решения по производству бензинов на окружающую среду и персонал, а также принятие решений, направленных на их защиту, так как в последнее время становится актуальными вопросы, касающиеся безопасности жизнедеятельности трудящихся.

Выполнен анализ возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке, производстве или эксплуатации модели процесса производства автомобильных бензинов, а также приведено обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. Время эвакуации из помещения составляет $0,374 \text{ мин} = 22,44 \text{ с}$.

Заключение

Благодаря развитию и применению методов математического моделирования, стало возможным прогнозирование проведения процесса по производству товарных автомобильных бензинов, разработка рекомендации по корректировке режимов колонны разделения широкой бензиновой фракции, а также по оптимальным соотношениям потоков, направляемых на смешение товарных бензинов.

В ходе проделанной работы были достигнуты следующие результаты:

1. Создана математическая модель блока разделения сырья с помощью системы точного моделирования технологических процессов нефтегазопереработки «Unisim Design». Также был произведен анализ исследуемых составов на соответствие требованиям по ограничению компонентов, предъявляемых к полученным составам легкой и тяжелой нефти, регламентирующей документацией.

2. Установлено влияние перерабатываемого состава и качества сырья на рецептуры и свойства получаемых автомобильных бензинов трех марок: «Регуляр-92», «Премиум-95» и «Супер-98» экологического класса ЕВРО 5. В данной работе рассматривалось влияние конкретных потоков компонентов смешения, таких как: «Риформат» и «Изомеризат». Влияние было оценено за счет сравнения характеристик полученных бензинов с использованием данных потоков низкого и высокого качества.

3. Разработаны оптимальные рецептуры компаундирования бензинов торговых марок «Регуляр-92», «Премиум-95» и «Супер-98» с помощью моделирующей системы «Compounding», в зависимости от качества компонентов, вовлекаемых в смешение. Полученный товарный бензин соответствует требованиям ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» [6].

4. Представлены рекомендации по корректировке технологического режима разделения широкой бензиновой фракции для улучшения свойств продуктов каталитического риформинга и изомеризации. А также разработаны рецептуры компаундирования бензинов торговых марок с использованием сырья после регулирования технологического режима.

5. Рассчитано количество тонн используемого изомеризата и риформата до и после корректировки технологического режима колонны-сплиттера нефти. Произведено сравнение результатов. При использовании сырья после корректировки технологического режима, разница между вовлеченным и произведенным количеством потока риформата уменьшается, что говорит о его большем использовании в компаундировании и сокращении затрат на производство товарных бензинов.

6. Проведена оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научно-технического исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Спланирован бюджет научных исследований. Определена ресурсосберегающая, финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования и выявлено, что данное исследование с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности является привлекательным.

7. Проведён анализ вредных и опасных факторов, возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), которые могут возникнуть при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Проанализирован характер воздействия проектируемого решения по производству бензинов на окружающую среду и персонал, а также принятие решений, направленных на их защиту.

Список использованных источников

1. Новости о запрете на производства бензинов ниже 5-го экологического класса [Электронный ресурс]. – Российская газета. URL: <https://rg.ru/2016/08/31/s-1-iiulia-v-rossii-zapreshchen-vypusk-avtobenzina-nizhe-klassa-evro-5.html>, свободный. – Дата обращения: 12.02.2021 г.
2. Меркулов Д.В. Современное состояние процессов вторичной переработки нефти и производственные возможности нефтеперерабатывающей промышленности России // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2018. – №. 9.
3. Карпов С.А. Автомобильные бензины с улучшенными экологическими свойствами // Экология и промышленность России. – 2019. – №. 1. – С. 30-32.
4. Емельянов, В. Е. / Производство автомобильных бензинов / В. Е. Емельянов. – Москва: Техника ТУМА ГРУПП, 2018. – 192 с.
5. Все о топливе. Автомобильный бензин: Свойства, ассортимент, применение / В. Е. Емельянов. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2017. – 79 с.
6. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2014. – 18 с.
7. Турукалов М. Полная изомеризация // Нефтегазовая вертикаль. – 2018. – № 16. – С. 22-28.
8. Давидан, Г. М., Нелин, А. Г., Олейник, Л. Н., Скутин, Е. Д. Изомеризация легких бензиновых фракций — перспективный способ повышения качества автомобильных бензинов. // Омский Научный Вестник. – 2017. – С. 26–29.
9. Ю.А. Федоров, Ю. К. Д. Подбор эффективного катализатора для процесса изомеризации фракций $C_6 - C_7$. // Булатовские чтения. – 2018.- С. 307–309.

10. Калягин, К. А., Давлетшин, А. Р., Гаеткулова, Г. К., Пэн, К., Шадрина, А. Э. Испытание платиносодержащих цеолитных катализаторов в процессе изомеризации. // «Нефтегазовое Дело». – 2018. - № 4. – С. 84–99.
11. Данные о катализаторах AXENS [Электронный ресурс]. – AXENS Solutions. URL: <https://www.axens.net/our-offer/by-products/catalysts-and-adsorbents/catalysts.html>, свободный. – Дата обращения: 13.02.2021 г.
12. Smolikov, M. D., Shkurenok, V. A., Yablokova, S. S., Kir'yanov, D. I., & Belyi, A. S. Изомеризация н-гептана в присутствии ароматических углеводородов на катализаторах Pt/MOR/Al₂O₃ и Pt/WO₃/ZrO₂. // Kataliz v Promyshlennosti. – 2018. - № 2. – С. 39–44.
13. Данные о катализаторах [Электронный ресурс]. – Химик. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/1914.html>, свободный. – Дата обращения: 13.02.2021 г.
14. A.A Ishbulatova, A.V. Dolmatov, N.A. Rudnev, A. U. A. INTENSIFICATION OF THE PERFORMANCE OF A GASOLINE ISOMERIZATION UNIT. // Нефтегазовое Дело. – 2017. – С. 165–174.
15. Технологии процесса изомеризации [Электронный ресурс]. – ООО НПП «Нефтехим». URL: <http://nefthim.ru/razrabotki/tehnologii-izomerizatsii/>, свободный. – Дата обращения: 15.02.2021 г.
16. Ясакова, Е. А., Ситдикова, А. В., & Ахметов, А. Ф. Тенденции Развития Процесса Изомеризации в России и за Рубежом. // Нефтегазовое Дело. - 2019. - С. 3–11.
17. Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТ Энефтехим. - 2020. – 80 с.
18. Данные о катализаторах технологиях [Электронный ресурс]. – Фирма «Honeywell UOP». URL: <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>, свободный. – Дата обращения: 17.02.2021 г.

19. Р.С. Мейерс, Основные процессы нефтепереработки. ЦОП «Профессия», Спб, 2019. 944 с.
20. Д.И. Кирьянов, М.Д. Смоликов, В.В. Пашков, А.Г. Проскура, Е.В. Затолокина, И.Е. Удрас, А. С. Б. Современное состояние процесса каталитического риформинга бензиновых фракций. // Рос. Хим. ж. (Ж. Рос. Хим. Об-Ва Им. Д.И. Менделеева). – 2018. – С. 60–66.
21. Хатмуллина Д.Д. Катализаторы риформинга. // Молодой Учёный. – 2019. - № 1. – С. 136-138.
22. Данные о катализаторах риформинга [Электронный ресурс]. – Фирма «ОЛКАТ». URL: <http://www.olkat.ru/>, свободный. – Дата обращения: 23.02.2021 г.
23. В.Г. Козин, Н.Л. Солодова, Н.Ю. Башкирцева, А.И.Абдуллин, Современные технологии производства компонентов моторных топлив. КГТУ, Казань, 2020. 328 с.
24. П.Г. Баннов, Процессы переработки нефти. ХИМИЗ-ДАТ, Спб, 2019. 368 с.
25. Ишмурзин А.В, Дорощук А.Б., Яшин А.А., Марышев В.Б., Осадченко А.И. Особенности технологии и результаты модернизации процесса каталитического риформинга. // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2019. - № 4. – С. 35-37.
26. Abdullah M. Licensed Reforming Processes // Aitani King Fahd University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia. - 2019. - С. 483-491.
27. Минхайров М.Ф., Ишмурзин А.В., Солодов П.А., Софьин А.С., Вышенцев А.Ю., Марышев В.Б., Осадченко А.И. Об источниках образования бензола при ужесточении процесса риформинга. // Мир нефтепродуктов. ВНК. - 2020. - № 1.
28. Д.Р. Ахметзянов, М.С. Набиев, Н. Л. С. Методы удаления бензола из катализата риформинга. // Вестник Технологического Университета. – 2017. - № 8. – С. 133–143.

29. Н. Р. Тамаев, Н. Л. Солодова, Н. А. Т. Пути снижения содержания бензола в катализатах риформинга. // УДК 665.642.5. – 2017. – С. 133–137.
30. Физико-химические свойства топлив [Электронный ресурс]. – Химиянефти URL:<http://proofoil.ru/Oilchemistry/phisycschemicalproperty2.html>, свободный. – Дата обращения: 25.02.2021 г.
31. В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов, Автомобильный бензин и другие виды топлива. Свойства, ассортимент и применение. Астрель АСТ Профиздат, Москва, 2017. 207 с.
32. Гартман Т.Н., Клушин Д.В. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учебное пособие. – Москва: Академкнига, 2017. – 416 с.
33. Карпов С.А., Борзаев Б.Х., Елиша М.К. Актуальные аспекты производства современных автомобильных топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. –2020. – № 5. – С. 15-19.
34. Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Учебно-методическое пособие. Томск: Изд-во НИ ТПУ, 2014. – 73 с.
35. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021). - М.: Стандартинформ, 2001.
36. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – введ. 01.01.1979. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
37. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – введ. 01.01.1978. - М.: Издательство стандартов, 1990.
38. ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – введ. 01.07.1997. - М.: Стандартинформ, 2008.

39. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". – введ. 28.02.2021. - М.: Стандартинформ, 2021.
40. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». – введ. 01.03.2017. - М.: Стандартинформ, 2017.
41. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – введ. 01.09.1996. - М.: Стандартинформ, 2018.
42. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – введ. 08.05.2017. - М.: Стандартинформ, 2017.
43. ГОСТ Р 55710 – 2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – введ. 01.07.2014. - М.: Стандартинформ, 2016.
44. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – введ. 01.07.1983. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
45. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - введ. 01.01.2019. -
46. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. – 01.03.2017. – М.: Стандартинформ, 2017. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2019.
47. ГОСТ Р 53692-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. - введ. 01.01.2011. - М.: Стандартинформ, 2019.
48. ГОСТ 17.2.4.02-81 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. – введ. 01.07.1982. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2017.

49. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений. – введ. 01.07.1986. - М.: ФГУП "Стандартинформ", 2016.

50. ГОСТ 17.4.3.04-85 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. – введ. 01.07.1986. - М.: Стандартинформ, 2018.

51. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», при работе с компьютером необходимо соблюдать следующие нормы пожарной безопасности- введ.01.07.1992.-М.:Стандартинформ,2017.

52. Методические указания "Расчёт времени эвакуации" [Электронный ресурс]. – ЭИОС ТПУ: https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1246651/mod_resource/content/1/%D0%9C.pdf - Дата обращения: 03.05.2021 г.

53. ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения. – введ. 01.03.2017 – М.: Стандартинформ, 2016.

54. Ishmurzin A.V., Minkhayrov M.F., Solodov P.A., Sof'in A.S., Vyshentsev A.Yu., Maryshev V.B., Osadchenko A.I. On the sources of benzene formation during the tightening of the reforming process. // The world of petroleum products. – 2018.

55. GOST R 32513-2013. Motor fuels. Unleaded petrol. Technical conditions. - М.: Standartinform, 2019. – 18 p.

56. Akhmetzyanov D.R., Nabiev M.S., Methods for removing benzene from reforming catalyzate. // Bulletin of the Technological University. – 2017. – No. 8. – P. 133-143.

57. Abdullah M. Licensed Reforming Processes // Aitani King Fahd University of Petroleum and Minerals Dhahran, Saudi Arabia. – 2018. – P. 483-491.

58. Robert A. Meyers, Ph.D. Handbook of petroleum refining processes // McGraw-Hill Education. Published by CRC Press. – 2020. – 847 p.

Приложение А

Дополнительные материалы к разделу 2

Таблица А.1 – Проектные и расчетные составы потоков колонны-сплиттера нефти

Компонент	Нефть (Сырье), % масс.	Легкая нефть (Верх), % масс.		Тяжелая нефть (Низ), % масс.	
	Проектное	Проектное	Расчетное	Проектное	Расчетное
Вода (H ₂ O)	Следы	-	0,00	-	0,00
Сероводород (H ₂ S)	Следы	-	0,00	-	0,00
Аммиак (NH ₃)	Следы	-	0,00	-	0,00
Водород (H ₂)	-	-	0,00	-	0,00
Метан (C ₁)	Следы	-	0,00	-	0,00
Этан (C ₂)	Следы	-	0,00	-	0,00
Пропан (C ₃)	Следы	Следы	0,00	-	0,00
Изобутан	1,44	1,44	1,44	-	0,00
н - Бутан	18,71	18,71	18,71	-	0,00
Олефин C ₄	0,01	0,01	0,01	-	0,00
Изопентан	172,22	172,22	172,22	-	0,00
н - Пентан	198,64	198,64	198,64	-	0,00
Циклопентан	140,08	140,08	140,08	-	0,00
2,2 - Диметилбутан	2,55	2,55	2,55	-	0,00
2,3 - Диметилбутан	9,01	9,01	9,01	Следы	0,00
2 - Метилпентан	60,98	60,98	60,98	Следы	0,00
3 - Метилпентан	55,57	55,57	55,57	Следы	0,00
н - Гексан	92,59	92,57	92,59	0,02	0,00
Метилциклопентан	71,33	71,22	71,31	0,11	0,02
Циклогексан	53,33	45,13	45,02	8,21	8,31
Бензол	9,16	9,15	9,15	Следы	0,01
2,2 - Диметилпентан	2,21	2,02	2,13	0,19	0,08
2,4 - Диметилпентан	4,40	3,98	4,21	0,42	0,19
2,2,3 - Триметилбутан	1,10	0,85	0,70	0,25	0,40
3,3 - Диметилпентан	2,26	0,52	0,01	1,74	2,25
2,3 - Диметилпентан	13,56	0,55	0,01	13,00	13,55
2 - Метилгексан	37,36	2,03	0,04	35,33	37,32
3 - Метилгексан	45,76	0,62	0,01	45,14	45,75
3 - Этилпентан	4,53	0,02	0,00	4,52	4,53
н - Гептан	96,02	0,02	0,00	96,01	96,02
Диметилциклопентан	38,59	2,27	0,05	36,31	38,54
Метилциклогексан	140,79	Следы	0,00	140,79	140,79
Этилциклопентан	39,22	Следы	0,00	39,22	39,22
Толуол	28,24	Следы	0,00	28,24	28,24
Изооктан	92,57	0,01	0,00	92,56	92,57
н - Октан	79,49	-	0,00	79,49	79,49
Пропилциклопентан	69,95	Следы	0,00	69,95	69,95
Этилциклогексан	105,75	-	0,00	105,75	105,75
Этилбензол	5,71	-	0,00	5,71	5,71

Продолжение таблицы А.1

п - Ксилол	5,32	-	0,00	5,32	5,32
м - Ксилол	15,71	-	0,00	15,71	15,71
о - Ксилол	6,79	-	0,00	6,79	6,79
Изононан	99,76	-	0,00	99,76	99,76
н - Нонан	53,61	-	0,00	53,61	53,61
Бутилциклопентан	77,68	-	0,00	77,68	77,68
Пропилциклогексан	94,08	-	0,00	94,08	94,08
Изопропилбензол	2,14	-	0,00	2,14	2,14
н - Пропилбензол	2,14	-	0,00	2,14	2,14
1 - Метил - 3 - Этилбензол	1,84	-	0,00	1,84	1,84
1 - Метил - 4 - Этилбензол	3,96	-	0,00	3,96	3,96
1,3,5 - Триметилбензол	3,68	-	0,00	3,68	3,68
1 - Метил - 2 - Этилбензол	2,48	-	0,00	2,48	2,48
1,2,4 - Триметилбензол	10,52	-	0,00	10,52	10,52
1,2,3 - Триметилбензол	3,16	-	0,00	3,16	3,16
Индан	1,06	-	0,00	1,06	1,06
Насыщенные C ₁₀	111,04	-	0,00	111,04	111,04
Бутилциклогексан	56,71	-	0,00	56,71	56,71
Пентилциклопентан	42,21	-	0,00	42,21	42,21
Ароматические C ₁₀	1,86	-	0,00	1,89	1,86
Бутилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1 - Метил - 2 - Изопропилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,4 - Диэтилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,2,4,5 - Тетраметилбензол	1,76	-	0,00	1,76	1,76
1,2,3,4 - Тетраметилбензол	1,86	-	0,00	1,86	1,86
Насыщенные C ₁₁₊	14,89	-	0,00	14,89	14,89
Нафтены C ₁₁₊	19,23	-	0,00	19,23	19,23
Ароматические C ₁₁₊	0,79	-	0,00	0,79	0,79

Приложение Б

Дополнительные материалы к разделу 3

Таблица Б.1 – Количество компонентов в тяжелой нефти исследуемых составов, влияющие на качество сырья, до корректировки режима

Компоненты	Состав тяжелой нефти, % мас.			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
<u>2,2 - Диметилбутан</u>		0,000	0,000	0,000
<u>2,3 - Диметилбутан</u>		0,000	0,000	0,000
<u>2 - Метилпентан</u>		0,000	0,000	0,001
<u>3 - Метилпентан</u>		0,000	0,000	0,004
<u>н - Гексан</u>		0,000	0,000	0,069
<u>Метилциклопентан</u>	0,001	1,034	0,001	0,282
<u>Циклогексан</u>	0,412	2,709	0,054	1,304
<u>Бензол</u>	0,001	1,021	0,000	0,126
2,2 - Диметилпентан	0,005	0,010	0,003	0,060
2,4 - Диметилпентан	0,011	0,024	0,007	0,125
2,2,3 - Триметилбутан	0,024	0,033	0,016	0,042
3,3 - Диметилпентан	0,133	0,133	0,203	0,115
2,3 - Диметилпентан	0,801	0,803	1,015	0,729
2 - Метилгексан	2,205	2,212	2,035	1,991
3 - Метилгексан	2,704	2,713	2,671	2,504
3 - Этилпентан	0,268	0,269	0,268	0,253
н - Гептан	5,674	5,694	5,936	5,498
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	2,231	2,236	1,610	1,949
Метилциклогексан	8,152	8,181	8,190	7,963
Этилциклопентан	2,271	2,279	2,281	2,239
Толуол	1,535	1,540	1,801	1,517
Сумма УВ С₆	0,414	4,764	0,055	1,722

Таблица Б.2 – Количество компонентов в легкой нефти исследуемых составов, влияющие на качество сырья, до корректировки режима

Компоненты	Состав легкой нефти, % мас.			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
2,2 - Диметилбутан		0,323	0,319	0,323
2,3 - Диметилбутан		1,141	0,874	1,267
2 - Метилпентан		7,721	7,617	7,854
3 - Метилпентан		7,036	6,941	7,032
н - Гексан		11,901	10,742	11,739
Метилциклопентан	8,826	9,023	8,048	8,208
Циклогексан	5,573	5,076	5,966	3,351
Бензол	1,051	1,317	0,962	0,912
<u>2,2 - Диметилпентан</u>	0,314	0,301	0,314	0,175

Продолжение таблицы Б.2

<u>2,4 - Диметилпентан</u>	0,620	0,588	0,623	0,336
<u>2,2,3 - Триметилбутан</u>	0,103	0,079	0,398	0,057
<u>3,3 - Диметилпентан</u>	0,002	0,003	0,230	0,045
<u>2,3 - Диметилпентан</u>	0,001	0,002	0,132	0,181
<u>2 - Метилгексан</u>	0,006	0,009	0,448	0,546
<u>3 - Метилгексан</u>	0,001	0,002	0,112	0,504
<u>3 - Этилпентан</u>	0,000	0,000	0,002	0,037
<u>н - Гептан</u>	0,000	0,000	0,001	0,450
<u>Диметилциклопентан (Цис - 1,3)</u>	0,008	0,015	1,552	0,715
<u>Метилциклогексан</u>	0,000	0,000	0,000	0,489
<u>Этилциклопентан</u>	0,000	0,000	0,000	0,086
<u>Толуол</u>	0,000	0,000	0,000	0,047
Сумма УВ С₇	1,054	0,999	3,812	3,668

Таблица Б.3 – Количество компонентов в тяжелой нефти исследуемых составов, влияющие на качество сырья, после корректировки режима

Компоненты	Состав тяжелой нефти, % мас.			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
<u>2,2 - Диметилбутан</u>		0,000	0,000	0,000
<u>2,3 - Диметилбутан</u>		0,000	0,000	0,000
<u>2 - Метилпентан</u>		0,000	0,000	0,000
<u>3 - Метилпентан</u>		0,000	0,000	0,000
<u>н - Гексан</u>		0,000	0,000	0,001
<u>Метилциклопентан</u>	0,001	0,021	0,003	0,012
<u>Циклогексан</u>	0,412	0,441	0,351	0,332
<u>Бензол</u>	0,001	0,000	0,000	0,004
2,2 - Диметилпентан	0,005	0,002	0,019	0,020
2,4 - Диметилпентан	0,011	0,005	0,045	0,045
2,2,3 - Триметилбутан	0,024	0,009	0,029	0,030
3,3 - Диметилпентан	0,133	0,127	0,132	0,130
2,3 - Диметилпентан	0,801	0,801	0,807	0,800
2 - Метилгексан	2,205	2,206	2,207	2,200
3 - Метилгексан	2,704	2,704	2,703	2,705
3 - Этилпентан	0,268	0,227	0,268	0,268
н - Гептан	5,674	5,674	5,673	5,682
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	2,231	2,234	2,234	2,208
Метилциклогексан	8,152	8,152	8,151	8,163
Этилциклопентан	2,271	2,271	2,270	2,274
Толуол	1,535	1,534	1,534	1,537
Сумма УВ С₆	0,414	0,461	0,352	0,353

Таблица Б.4 – Количество компонентов в легкой нефти исследуемых составов, влияющие на качество сырья, после корректировки режима

Компоненты	Состав легкой нефти, % мас.			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
2,2 - Диметилбутан		0,216	0,323	3,588
2,3 - Диметилбутан		0,762	1,142	3,729
2 - Метилпентан		5,155	7,719	9,776
3 - Метилпентан		4,098	7,043	1,791
н - Гексан		21,623	11,735	4,764
Метилциклопентан	8,826	16,300	8,821	1,179
Циклогексан	5,573	11,628	5,398	0,215
Бензол	1,051	1,943	1,052	2,685
<u>2,2 - Диметилпентан</u>	0,314	0,171	0,375	0,529
<u>2,4 - Диметилпентан</u>	0,620	0,539	0,725	1,027
<u>2,2,3 - Триметилбутан</u>	0,103	0,108	0,121	8,992
<u>3,3 - Диметилпентан</u>	0,002	0,209	0,106	8,055
<u>2,3 - Диметилпентан</u>	0,001	0,101	0,011	7,615
<u>2 - Метилгексан</u>	0,006	0,102	0,001	0,494
<u>3 - Метилгексан</u>	0,001	0,000	0,000	12,670
<u>3 - Этилпентан</u>	0,000	0,000	0,000	8,214
<u>н - Гептан</u>	0,000	0,000	0,000	2,582
<u>Диметилциклопентан (Цис - 1,3)</u>	0,008	0,000	0,001	0,433
<u>Метилциклогексан</u>	0,000	0,000	0,000	5,135
<u>Этилциклопентан</u>	0,000	0,000	0,000	1,886
<u>Толуол</u>	0,000	0,000	0,000	3,236
Сумма УВ C₇	1,054	1,232	1,341	1,022

Таблица Б.5 – Состав бокового погона

Компонент	Боковой погон, % мас.	Компонент	Боковой погон, % мас.
Изобутан	0,005	Этилбензол	0,001
н - Бутан	0,024	п - Ксилол	1,019
Олефин C ₄ (Бутилен - 1)	0,810	м - Ксилол	0,000
Изопентан	1,157	о - Ксилол	0,000
н - Пентан	0,839	Изононан (2,2,3,3 - Тетраметилпентан)	1,200
Циклопентан	1,514	н - Нонан	0,000
2,2 - Диметилбутан	3,588	Бутилциклопентан	0,000

Продолжение таблицы Б.5

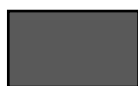
2,3 - Диметилбутан	3,729	Пропилциклогексан	0,000
2 - Метилпентан	9,776	Изопропилбензол (Кумол)	3,941
3 - Метилпентан	1,791	н - Пропилбензол	0,000
н - Гексан	4,764	1 - Метил - 3 - Этилбензол	0,000
Метилциклопентан	1,179	1 - Метил - 4 - Этилбензол	0,000
Циклогексан	0,215	1,3,5 - Триметилбензол	0,000
Бензол	2,685	1 - Метил - 2 - Этилбензол	0,000
2,2 - Диметилпентан	0,529	1,2,4 - Триметилбензол	0,000
2,4 - Диметилпентан	1,027	1,2,3 - Триметилбензол	0,000
2,2,3 - Триметилбутан	8,992	Индан	0,000
3,3 - Диметилпентан	8,055	Насыщенные C ₁₀ (Декан)	0,000
2,3 - Диметилпентан	7,615	Бутилциклогексан	0,000
2 - Метилгексан	0,494	Пентилциклопентан (Изобутилциклогексан)	0,000
3 - Метилгексан	12,670	Ароматические C ₁₀ (Нафталин)	0,000
3 - Этилпентан	8,214	Бутилбензол	0,000
н - Гептан	2,582	1 - Метил - 2 - Изопропилбензол (о - Цимол)	0,000
Диметилциклопентан (Цис - 1,3)	0,433	1,4 - Диэтилбензол	0,000
Метилциклогексан	5,135	1,3 - Диметил - 4 - Этилбензол (4 - Этил м-Ксилол)	0,000
Этилциклопентан	1,886	1,2,4,5 - Тетраметилбензол	0,000
Толуол	3,236	1,2,3,4 - Тетраметилбензол	0,000
Изооктан (2,2,4 - Триметилпентан)	0,800	Насыщенные C ₁₁₊ (Ундекан)	0,000
н - Октан	0,062	Нафтенy C ₁₁₊ (Циклоундекан)	0,000
Пропилциклопентан	0,031	Ароматические C ₁₁₊ (1 - Метилнафталин)	0,000
Этилциклогексан	0,000	Сумма	100,000

Приложение В

Дополнительные материалы к разделу 4

Таблица В.1 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Наименование этапа	Т, дней	2019				2020												2021					
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Утверждение темы магистерской диссертации	7																						
Согласование плана работ	7																						
Литературный обзор	138																						
Обработка полученных данных и обсуждение результатов	287																						
Составление пояснительной записки	167																						
Оформление презентации, защита диссертации	10																						



- Ларина Е.Е.



- Ларина Е.Е, Чузлов В.А.

Приложение Г

(справочное)

Mathematical modeling of motor gasoline production

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ92	Ларина Екатерина Евгеньевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Чузлов Вячеслав Алексеевич	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Терре Дина Анатольевна	к.ф.н.		

Control of benzene content in gasoline has become an important issue worldwide because of health and environmental concerns. Because the major source of benzene in gasoline is the naphtha reformer, naphtha processing is the major focus for benzene reduction. Every year the tightening of requirements for the content of aromatic hydrocarbons, in particular benzene, affect the process of modernization of the reforming process, since, as a rule, it is with the reformat (40-70%) that the bulk of these toxic substances enter the composition of motor gasoline [54].

The benzene content of gasoline is currently limited by national standards. The values vary from 1% to 5%, and it is according to the new environmental requirements that the amount of benzene in K5 gasoline should not exceed 1% by volume [55].

There are several common methods for reducing benzene.

The choice of the method by the enterprise depends on the technological scheme and the purposes of the processing. One of the simple solutions to the problem is to carry out reforming with continuous catalyst regeneration. This technology has several advantages such as high yield and quality of the resulting product and hydrogen-containing gas, sufficiently deep aromatization of raw materials, and production of reforming gasoline with improved environmental characteristics. Reforming with continuous regeneration is carried out at lower pressures, which entails positive aspects including a decrease in the volatility of the reformat and, consequently, a decrease in the saturated vapor pressure, as well as a decrease in the benzene content in the reformat by 20% relative to the technology with periodic regeneration.

A significant disadvantage of using the technology with constant regeneration is high cost. Therefore, enterprises are engaged in the improvement of the existing catalysts and development of new ones as well as methods for their regeneration. In addition, in the technology with periodic regeneration, an additional reactor with a circulating catalyst bed is used. In recent years, Russia has been the most frequent licensee of improved hardware design with improved technological modes.

Currently the existing refineries make use of two more major methods for reducing benzene in reformate, which were developed by the company UOP [56].

The first method is prefractionation. It consists in removing benzene and benzene-forming components from the feedstock due to reforming by increasing its boiling point to 100 °C (Figure 1).

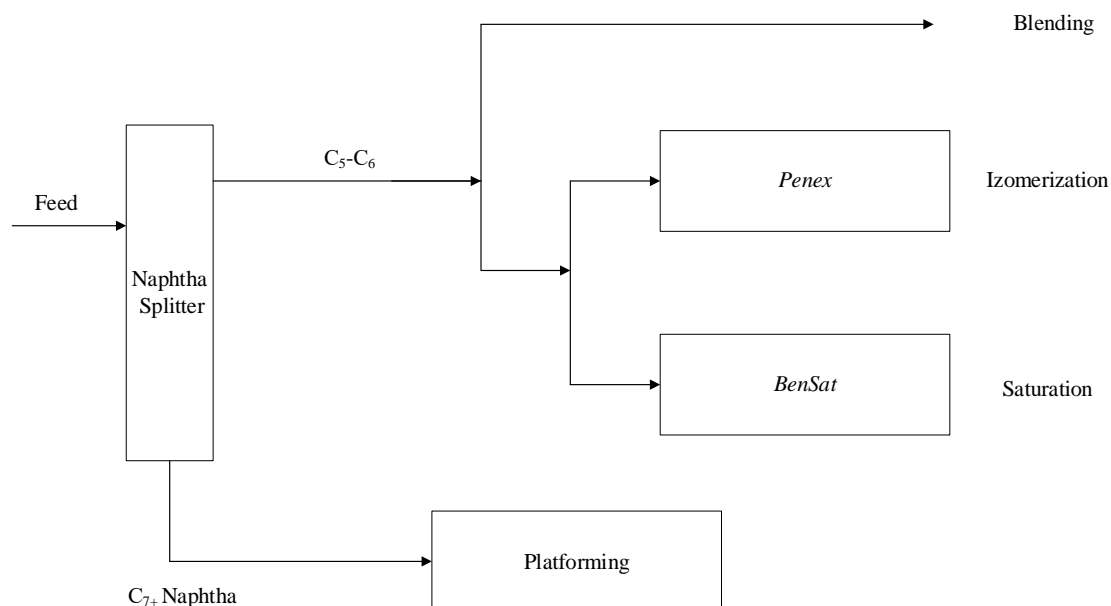


Figure 1 - Scheme of obtaining a proportion of gasoline mixing with prefractionation [56]

However, because of using this method, the fractional composition of the reformate becomes heavier and a high content of the low-octane fraction of 70-100 °C is formed. Therefore, a negative aspect of the application of this method is formation of a straight-run fraction with a low octane number which exceeds the upper limits of benzene standard, and which further requires high technology processing, involving additional investment.

The second method to reduce the concentration of benzene is postfractionation (Figure 2). It is based on the separation of the benzene-enriched light compounds from the reformate by rectification. To ensure that the concentration of benzene in the reformate does not exceed 1% by volume, it is necessary to maintain the end-boiling point of the distilled benzene-containing fraction at about 85 °C.

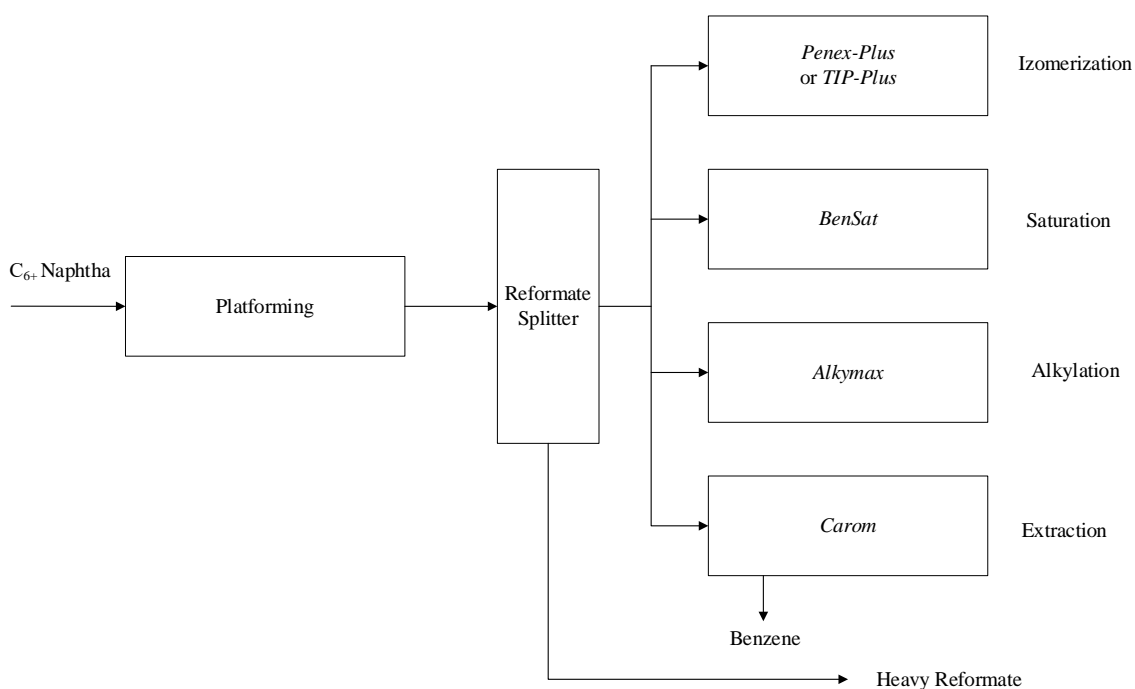


Figure 2 - Scheme of gasoline separation using postfractionation [56]

The extracted benzene-containing fraction is inappropriate to use for compounding even low-octane gasoline due to the high benzene content. Therefore, in the future it is processed in one of the following ways [56]:

- extraction of benzene from catalysis;
- alkylation of benzene with olefins;
- hydrogenation of benzene to cyclohexane;
- hydroisomerization of benzene to methylcyclopentane.

Deciding which benzene-management strategy to use depends on the value of hydrogen, total gasoline, and premium gasoline. It also depends on the type of reformer, the feedstock processed in the reformer, and the refinery configuration. Finally, the benzene-management strategy depends on the target benzene level in the final amount of gasoline as well as the other blend-stocks used in making gasoline.

Two basic approaches may be used to reduce benzene from the reformer and thereby reduce the benzene content of the gasoline [57]:

1. Prefractionation. Options for processing the light naphtha are:
 - Blending - Light naphtha can be blended directly into the gasoline pool if its benzene content is acceptable and if there is no need for additional octane.

– Isomerization - The octane of the light naphtha is increased, and the benzene is saturated.

–Saturation - Benzene is removed without upgrading the light naphtha octane. Octane lost in saturating benzene must be made up from other sources.

2. Postfractionation. Processing options are:

–Saturation - Benzene in the light reformat is saturated. Octane must be made up from other sources.

–Isomerization - Light reformat is processed together with light naphtha in an isomerization unit. The octane of the combined light naphtha and light reformat streams is increased, and benzene is saturated.

–Extraction - Benzene is removed from the reformat for sale as a petrochemical feed.

Let us consider several modern methods for reducing benzene in the production of commercial gasolines in more detail.

1 UOP Butamer process

The first successful efforts in the research and development of catalytic systems for the isomerization of normal paraffins were made in the early 1930s [58]. The requirement for high-octane aviation gasoline during World War II accelerated the application of early isomerization research. Light olefinic hydrocarbons were available from the newly developed fluid catalytic cracking (FCC) process and from other mainly thermal operations. These olefinic hydrocarbons could be alkylated with isobutane ($i\text{-C}_4$) to produce a high-octane gasoline blending component. However, the supply of isobutane from straight-run sources and other refinery processing was insufficient, and a new source of supply had to be found.

Isobutane produced from the new normal paraffin isomerization process met that need. The first commercial butane isomerization unit was put into operation in late 1941. By the end of the war, 38 plants worked in the United States and five in allied countries for a total capacity of approximately 50,000 barrels per stream day (BPSD). Five principal isomerization processes, including one developed by UOP,

were used in the United States. All were based on Friedel-Crafts chemistry and used variety of aluminum chloride.

The wartime units fulfilled the needs of the time. However, despite many improvements, the units remained difficult and costly to operate. Corrosion rates were excessive, plugging of catalyst beds and equipment was common, and catalyst consumption was high. The units were characterized by high maintenance and operating costs and low on-stream efficiency.

The introduction of UOP Platforming process in 1949 and the rapid spread of such catalytic reforming over dual-functional catalysts in the 1950s served to focus attention on the development of similar catalysts for paraffin isomerization [58]. The term dual functional refers to the hydrogenation and controlled-acidity components of a catalyst. Isomerization was known to be one of several reactions that occurred during catalytic reforming, and so isolating this reaction to apply to feeds that did not require any other reactions was a promising task.

Although the earlier of these dual-functional catalysts eliminated many of the shortcomings of the wartime aluminum chloride catalyst systems, they required relatively high operating temperatures.

1.1 Process description

The UPO Butamer technology is a fixed-bed, vapor-phase process promoted by the injection of trace amounts of organic chloride. The reaction is conducted in the presence of a minor amount of hydrogen, which suppresses the polymerization of olefins formed as intermediates in the isomerization reaction. Even though the chloride is converted to hydrogen chloride, carbon steel construction is used successfully because of the dry environment. The process uses a high-activity, selective catalyst that promotes the desired conversion of normal butane ($n\text{-C}_4$) to isobutane at low temperature and, hence, at favorable equilibrium conditions.

1.2 Process contaminants

Water poisons the Butamer catalyst. A simple but effective molecular-sieve drying system is applied in units to hydrocarbon and gas feeds. Sulfur is a temporary

poison that inhibits catalyst activity. The effect of sulfur entering the reaction system is decreasing a single-pass conversion of normal butane to isobutane.

Butamer catalyst exposed to sulfur essentially recovers its original activity when the sulfur is eliminated from the feed. The effect of sulfur on the Butamer system is minimal because the molecular-sieve feed dryers are also capable to economically remove this material from typical butane fractions. Should a potential feed of relatively high sulfur content be encountered, the bulk of this content would be mercaptan sulfur that is readily removed by simple caustic extraction, such as UOP Merox process. The residual sulfur remaining after extraction would then be removed by the feed-drying system of the molecular sieve. Another catalyst poison is fluoride, which also degrades the molecular sieves used for drying. Butamer feeds derived from an HF alkylation unit contain such fluorides which are removed when they pass through a hot bed of alumina.

The proper design of simple feed-pretreatment facilities effectively controls contaminants and minimizes catalyst consumption.

1.3 Isomerization reactors

One characteristic of the Butamer process is that catalyst deactivation begins at the inlet of the first reactor and proceeds slowly downward the bed. The adverse effect that such deactivation can have on unit on-stream efficiency is avoided by installing two reactors in series. Each reactor contains 50 percent of the total required catalyst. Piping and valving are arranged to permit isolation of the reactor containing the spent catalyst while the second reactor remains in operation. After the spent catalyst has been replaced, the relative processing positions of the two reactors are reversed. During the short time when one reactor is off-line for catalyst replacement, the second reactor is fully capable of maintaining continuous operation at designed separating capacity, yield, and conversion. Thus, the operating time depends only on the scheduling of shutdown for normal inspection and maintenance.

In addition to the advantages associated with maximizing on-stream efficiency, a two reactor system effectively reduces catalyst consumption. Reactors are typically designed so that by the time isomerization decreases to an unacceptable

level when approximately 75 percent of the total catalyst bed has been spent, a catalyst replacement is carried out. In a single reactor unit, 25 percent of the original catalyst load, although still active, is discarded when the reactor is unloaded. In a two-reactor system, no active catalyst need be discarded because 50 percent replacement is made when catalyst in the first reactor has been spent. Thus, 100 percent of a catalyst is used. [58].

The choice of a single-reactor or a two-reactor system depends on the particular situation. One should consider the advantages of essentially continuous operation and increased time of catalyst use compared to the expense for two-reactor installation. Both systems are commercially viable, and Butamer plants of both types are in operation.

2 UOP Penex process

A component of refinery gasoline pools that frequently offers the best opportunity for quality improvement is the pentane-hexane fraction, or light straight-run (LSR) naphtha. The LSR is characterized by a low research octane number (RON), ranging mainly from 60 to 70. Historically, this fraction, which constitutes approximately 10 percent of a typical gasoline pool in the United States and often a higher percentage in Europe, has been blended directly into gasoline without additional processing except for mercaptan removal. The low octane rating can be increased by approximately 16 to 18 numbers due to excellent lead susceptibility. The low octane straight-run C₅-C₆ fractions in the gasoline pool require the lead addition and almost no processing improvement.

As the petroleum industry moved toward the marketing of motor fuels with reduced or zero lead levels, accommodating the LSR in the gasoline pool became increasingly difficult. The conversion of these C₅ and C₆ paraffins to the corresponding branched isomers was recognized as a logical and necessary step to increase their RON. One option that UOP offers to accomplish this improvement is the Penex process, which uses a highly active, low-temperature hydroisomerization catalyst. The reliability of this catalyst has been commercially demonstrated since

1959 in butane isomerization (UOP Butamer process) and since 1969 in C₅-C₆ isomerization [58].

As a result of U.S. reformulated gasoline legislation for benzene reduction during the 1990s, a variation of UOP Penex process is being used to saturate all the benzene in the LSR cut and increase the octane of this gasoline fraction.

2.1 Process discussion

The UOP Penex process is specifically designed for the catalytic isomerization of pentane, hexanes, and their mixtures. The reactions take place in the presence of hydrogen, in the fixed bed of catalyst, and at operating conditions that promote isomerization and minimize hydrocracking. Operating conditions are not severe, as reflected by moderate operating pressure, low temperature, and low hydrogen partial pressure requirements.

Ideally, this isomerization catalyst would convert all the feed paraffins to the high octane-number branched structures such as normal pentane (n-C₅) to isopentane (i-C₅) and normal hexane (n-C₆) to 2,2- and 2,3-dimethylbutane. The reaction is controlled by a thermodynamic equilibrium that is more favorable at low temperature.

With C₅ paraffins, interconversion of normal pentane and isopentane occurs. The C₆-paraffin isomerization is more complex. Because the formation of 2- and 3-methylpentane and 2,3-dimethylbutane is limited by equilibrium, the net reaction involves mainly the conversion of normal hexane to 2,2-dimethylbutane. All the feed benzene is hydrogenated to cyclohexane, and a thermodynamic equilibrium is established between methylcyclopentane and cyclohexane. The octane rating is increased by approximately 14 numbers.

2.2 Process applications

As mentioned earlier, the primary purpose of the Penex process is to improve the octane number of LSR naphtha.

If the required octane number can be reached by recycling methylpentanes, the refiner probably would choose fractionation because of low investment cost. Where the cost of utilities is high, the refiner might choose a Molex unit, which

would separate both n-C₅ and n-C₆ through recycling. The utility cost can be lower for separating both of these components in a Molex unit than it would be for separating the methylpentanes by fractionation, and the refiner would achieve a higher RON.

Separation and recycle during paraffin isomerization are not new. Such installations have been used in many of the isomerization units in operation since the late 1980s. This change is a response to gradual lead phaseout and benzene reduction in gasoline.

The octane improvement brought about by modern isomerization techniques can be traced further. The C₆ portion of the straight run is about 55 RON, and this number is increased to 80 and 93 through recycle isomerization, respectively. The corresponding values for the C₅ fraction are 75, 86, and 93.

Reformulated gasoline legislation in Europe and the United States is limiting aromatics concentrations in gasoline. Similar legislation is being enacted or is under consideration in other parts of the world. This limitation on the aromaticity of gasoline further enhances the importance of high-octane aliphatic components such as alkylate and isomerized C₅-C₆.

3 UOP TIP and once-through zeolitic isomerization processes

Light straight-run (LSR) naphtha fractions produced in the refinery are predominantly C₅ and C₆ compounds. Some C₇ components are also present. They are highly paraffinic and have research octane number clear (RONC) usually in the range of 60-70. The non-normal components have higher octane numbers than normal paraffins and they are excellent gasoline-blending feedstocks. To increase the octane number of a gasoline pool and there is the demand for a high purity normal paraffins, UOP IsoSiv separation technology can be applied [58]. However, if octane improvement is of primary importance, isomerization technology is the best choice.

Paraffin isomerization used to upgrade the octane of light-naphtha streams has been known in the refining industry for many years and it has gained importance since the onset of the worldwide reduction in the use of lead antiknock compounds.

This technology continues to be important regarding current U.S. legislation on reformulated gasoline.

The most cost-effective method to upgrade an LSR feedstock in a grassroots situation is UOP Penex process. However, refiners with idle hydroprocessing equipment, such as old catalytic reformers or hydrodesulfurization units, can consider converting this equipment to a UOP Once-Through (O-T) Zeolitic Isomerization process. The process scheme is similar to that of a simple hydrotreater and conversions can be accomplished quickly and at low cost. With O-T Zeolitic Isomerization, a 10 to 12 octane-number increase for the C₅ – 71°C (160°F) light naphtha can be achieved.

For those refiners who need more octane than can be achieved from the once-through operation, an additional 8 to 10 RONC can be gained by adding molecular sieve adsorption to the O-T Zeolitic Isomerization process. Molecular sieve adsorption is used to extract the unreacted normal paraffins so they can be recycled to extinction. This approach of complete isomerization is referred to as UOP TIP process. Because O-T Zeolitic Isomerization is an integral part of the TIP process, the ensuing discussion begins with the once-through operation and concludes with a discussion of TIP.

3.1 Process description

Some refiners need the LSR naphtha fraction with higher octane number than is possible to produce using O-T Zeolitic Isomerization. As it is previously noted, the TIP process combines the O-T Zeolitic Isomerization operations with UOP naphtha IsoSiv process to yield an 87 to 90 RONC product, with the improvement of approximately 20 numbers. The TIP unit can be built grassroots, or a UOP IsoSiv unit can be added to an existing O-T Zeolitic Isomerization unit to convert it to a TIP unit. In this type of revamp, generally all existing equipment can be used.

The TIP process uses adsorption technology to remove and recycle the unconverted normal paraffins. During the adsorption step, a shape-selective molecular sieve removes all the unconverted normal paraffins from the isomerate to allow the branched-chain isomers to pass through. These adsorbed normals are then

desorbed by stripping with recycle hydrogen and run directly into the isomerization reactor. Because the entire process is carried out in the vapor phase, utility requirements are low. The entire process is operated at a constant low pressure. The presence of hydrogen during the desorption step prevents the buildup of coke on the adsorbent. Like the catalyst, the adsorbent can be regenerated in situ if an upset condition causes coking.

3.2 TIP process description

The TIP technology is a constant-pressure vapor-phase process operating at a moderate pressure, 14 to 35 kg/cm² range, and moderate temperatures, 245 to 370 °C (475 to 700 °F) [58]. Hydrogen at a sufficient partial pressure must be present during isomerization to prevent coking and deactivation of the catalyst.

Hydrotreated fresh feed is mixed with the hot recycle stream of hydrogen and C₅-C₆ normal paraffins prior to entering the isomerization reactor. A small stream of makeup hydrogen is also added to the feed of the reactor. The reactor effluent, at near-equilibrium isomerization composition, is cooled and flashed in a separator drum. The liquid product, which contains some unconverted low-octane normal paraffins, is vaporized and flows through the bed of molecular-sieve adsorbent, where the straight-chain normals are adsorbed for recycling back to the isomerization reactor. The branched-chain isomers and cyclic hydrocarbons, which have molecular diameters greater than the diameter of pores in the molecular-sieve adsorbent, cannot be adsorbed and leave the adsorbent bed free of normal paraffins.

This isomerate product is stabilized as required to remove any excess hydrogen, cracked products, and any propane or butane introduced with the added hydrogen. The hydrogen purge gas from the separator is circulated by means of a recycle compressor through a heater and is then used as a purge gas to strip the normal paraffins previously adsorbed on the molecular-sieve adsorbent bed. The hydrogen plus desorbed normals are then mixed with the fresh feed upstream of the isomerization reactor. The isomerization section and the adsorption section of a TIP unit have a common hydrogen recycle loop.

Feedstocks that contain an appreciable amount of heptanes or non-normal components use an alternative feed point. The fresh feed enters the system just upstream of the adsorbers rather than at the isomerization reactor. This feed-entry point allows the non-normal components and isoheptanes to get into the final isomerate product without first passing through the isomerization reactor, where some of the heptanes are hydrocracked to liquefied petroleum gas (LPG). With feedstocks having a low normal-paraffin content, it is also more efficient to enable the fresh feed enter the system just upstream of the adsorbers to recover the non-normal components. Only the adsorbed normal paraffins are then sent to the resulting smaller isomerization reactor.

Feeds with high levels of benzene can be processed initially in either the reactor section or the adsorption section. Benzene is saturated completely to cyclohexane in the reactor section, thereby producing a benzene-free isomerate product. For feeds with high levels of benzene, presaturation in a separate reactor at a high space velocity is used to remove the heat of saturation from the TIP reactor. This technology is known as TIP-Plus. Sending the feed to the adsorption section allows the high-octane benzene to immediately reach the isomerate product. For feeds that are best processed in the adsorber section first, but need to minimize benzene content in the product, the effluent from the saturation section can be sent to the adsorption section of the TIP-Plus process. The refiner needs to evaluate both octane and benzene target levels to determine the proper feed point. The TIP unit is normally designed with the capability for an in situ oxidative regeneration of the catalyst and the adsorbent to minimize downtime in the event of an unexpected upset that might coke the catalyst or the adsorbent.

3.3 Wastes and emissions

No wastes or emissions are created by the O-T Zeolitic Isomerization or TIP processes. Product stabilization, however, does result in small amounts of LPG ($C_3 + C_4$, rich in i- C_4) and in stabilizer vent ($H_2 + C_1 + C_2$) products. The stabilizer vent products are usually used as fuel. The LPG is a valuable by-product that is blended elsewhere in the refinery.